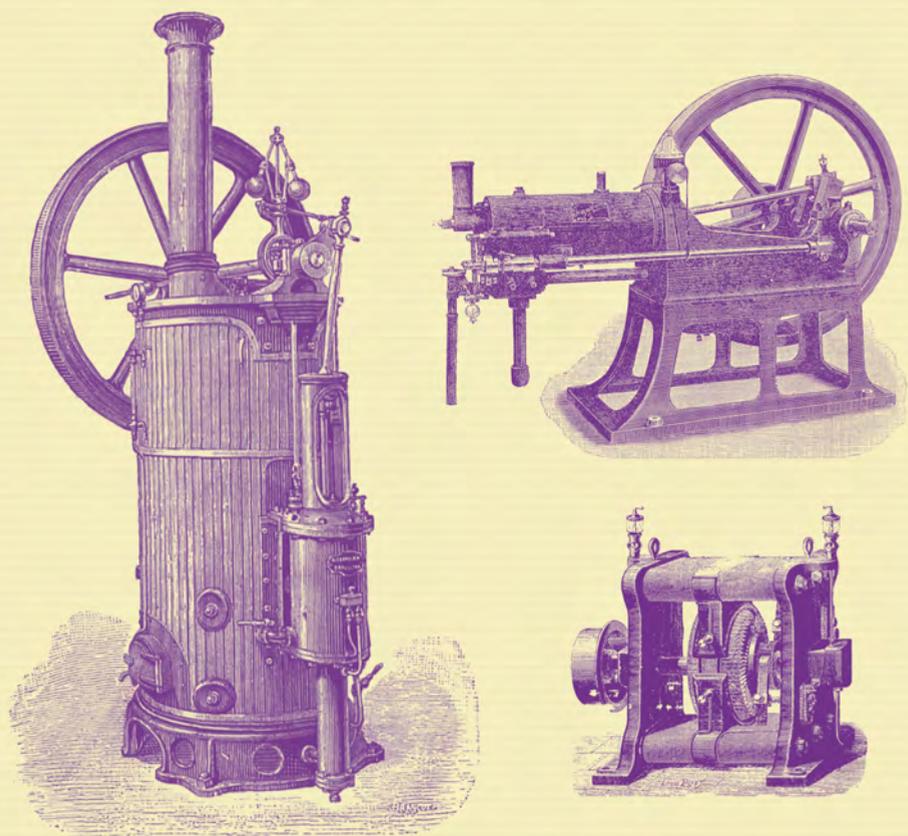


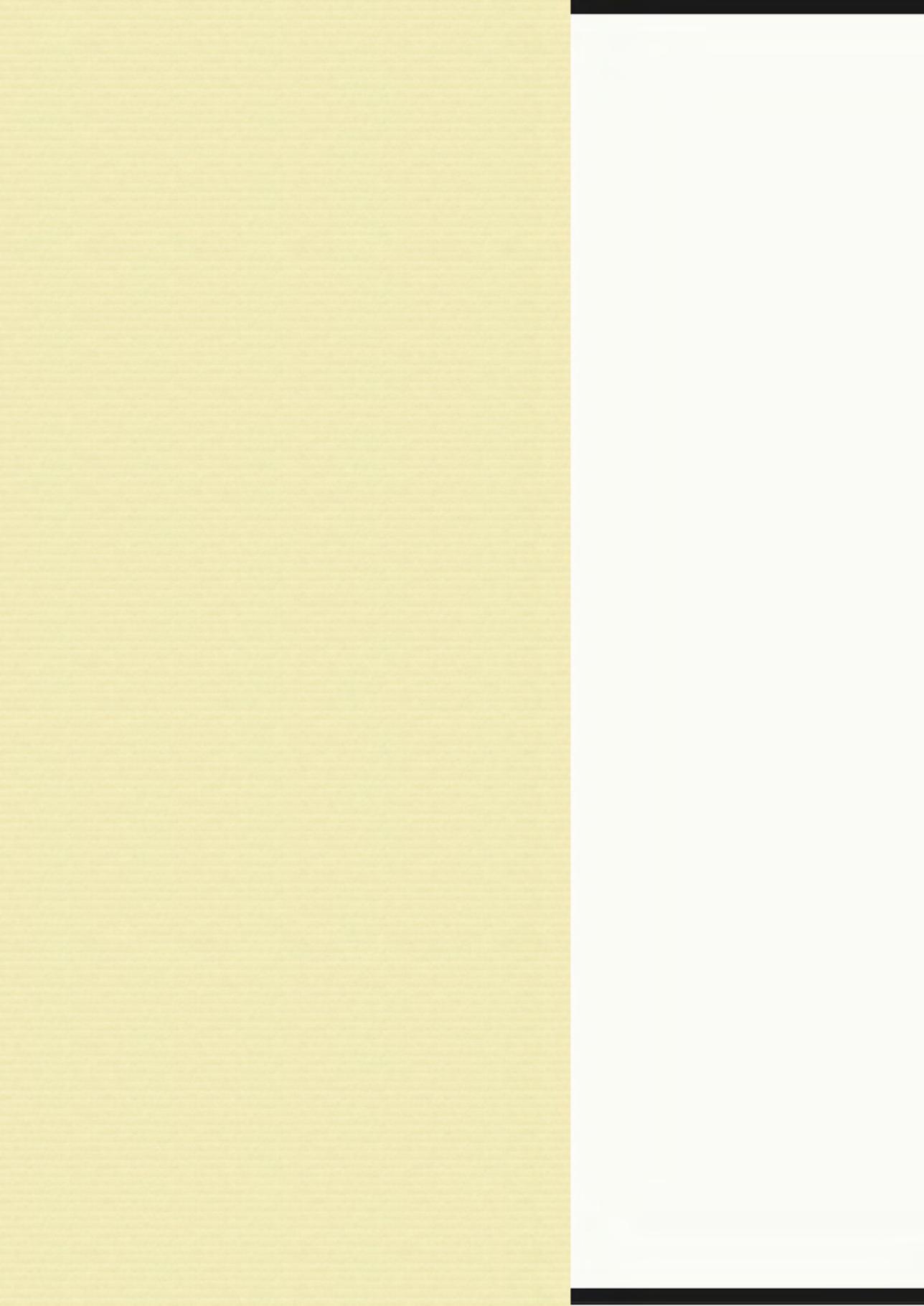
MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

**TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA
VI**

EL OCHOCIENTOS
De los lenguajes al patrimonio



REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA



MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

EL OCHOCIENTOS

De los lenguajes al patrimonio

TÉCNICA E INGENIERÍA
EN ESPAÑA

MANUEL SILVA SUÁREZ, ed.

TÉCNICA E INGENIERÍA EN ESPAÑA

VI

EL OCHOCIENTOS

De los lenguajes al patrimonio

Enrique Alarcón Álvarez	José Ignacio Muro Morales
Carles Alayo i Manubens	Javier Ortega Vidal
José Vicente Aznar García	Stefan Pohl Valero
Emilio Bautista Paz	Francesc Rodríguez Ortiz
Vicente Casals Costa	Amaya Sáenz Sanz
Juan Ignacio Cuadrado Iglesias	Jesús Sánchez Miñana
Leonardo Fernández Troyano	Manuel Silva Suárez
Alberto Fraile de Lerma	Mercedes Tatjer Mir
Cecilio Garriga Escribano	Fernando Veá Muniesa
Josefina Gómez de Mendoza	M. ^a Ángeles Velamazán Gimeno
Guillermo Lusa Monforte	Patricia Zulueta Pérez
Javier Manterola Armisén	

REAL ACADEMIA DE INGENIERÍA
INSTITUCIÓN «FERNANDO EL CATÓLICO»
PRENSAS UNIVERSITARIAS DE ZARAGOZA

Publicación número 3.111
de la
Institución «Fernando el Católico»
(Excma. Diputación de Zaragoza)
Plaza de España, 2 · 50071 Zaragoza (España)
Tels.: [34] 976 288878/79 · Fax [34] 976 288869
ifc@dpz.es
<http://ifc.dpz.es>

© Los autores, 2011.

© De la presente edición, Real Academia de Ingeniería, Institución «Fernando el Católico»,
Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011.

Cubierta: La motorización es una característica esencial de la Revolución Industrial. Se
presentan motores de tres tipos, todos diseñados y contruidos en el siglo XIX:
Máquina de vapor semifuja vertical de Alexander Hermanos; motor horizontal de
gas de tipo Otto, protegido por patente de invención, de Joaquín Torres; y dina-
mo *Gramme* L5 construida por la Sociedad Española de Electricidad. Estos tres
tipos de motores coexistían en el cambio de siglo.

Contracubierta: Dibujos en la patente depositada por los ingenieros militares Eusebio
Molera Bros y Juan Cebrián Cervera el 20 de junio de 1880 en los Estados Unidos.
Residentes en California, trabajaron en muy diversos temas. Esta patente con-
cierne a una mejora para los microscopios.

ISBN: 978-84-7820-814-2 (obra completa)

ISBN: 978-84-9911-151-3 (volumen VI)

Depósito Legal: Z-3688-2011

Corrección ortotipográfica: Ana Bescós y Laura Ayala

Digitalización: María Regina Ramón, AHOEPM, Bibl. ETSICCP de Madrid y Fons Històric
de la ETSEI de Barcelona

Tratamiento digital: Manuel Silva Suárez

Maquetación: Littera

Impresión: INO Reproducciones, Zaragoza

IMPRESO EN ESPAÑA - UNIÓN EUROPEA

PRESENTACIÓN

EL SIGLO DEL VAPOR Y DE LA ELECTRICIDAD
... Y DE OTRAS MUCHAS COSAS ADEMÁS

También dedicados al Ochocientos, los volúmenes iv y v persiguieron apuntar la esencial interacción entre técnica y sociedad; entre otros aspectos, algunos relativos a los reflejos culturales de la primera o a la historia y sociología de las profesiones y las instituciones fundamentalmente involucradas. Cambiando de registro, en el presente tomo se aborda el análisis de una parte sustancial del amplio espectro temático de la técnica decimonónica, arrancando con la consideración de sus lenguajes básicos. Siglo complejo y convulso, pero tremendamente innovador, en su

civilización moderna [...] destaca enseguida en el orden material un hecho que la caracteriza: la utilización de las energías naturales y en especial de las térmicas y eléctricas; empleando una frase que ha acabado por hacerse vulgar, puede afirmarse que con razón se ha llamado al siglo xix *el siglo del vapor y de la electricidad*¹.

Vapor y electricidad pueden tomarse como iconos de lo que se denominan primera y segunda revolución industrial, lo que a mediados de la centuria explicita Antonio Flores como «el hoy y el mañana»². Pero, defínanse como se definan estas «revoluciones», en ambas hubo muchísimo más. Por ejemplo, desde el cálculo y la construcción de estructuras (hiper)estáticas y de máquinas a las nuevas técnicas agrícolas (renovación de cultivos, luchas contra las plagas, concepción de nuevas máquinas y aperos, síntesis de nuevos abonos, etc.) y de la industria agroalimentaria, o desde los motores de combustión interna a la química industrial.

Entre los lenguajes de comunicación técnica (símbolos, reglas, estilos, etc.), en este volumen recibirán atención la lengua (procesos de formación y adquisición de neologismos, modos de expresión, etc.), el dibujo (en sus dimensiones cartográfica, arquitectónica y de infraestructura, y de máquinas), las matemáticas (debates sobre su papel

¹ José SERRAT Y BONASTRE: «Influencia del espíritu de investigación científica sobre la invención y el perfeccionamiento de la máquina de vapor», *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, vol. xi, n.º 20 (1915), pp. 315-342. (Discurso de recepción en la RACAB). La cursiva es nuestra.

² Antonio FLORES: *Ayer, hoy y mañana, o La fe, el vapor y la electricidad. Cuadros sociales de 1800, 1850 y 1899 dibujados a la pluma por D. Antonio Flores*, 7 vols., Madrid, Impr. del Establ. de Mellado, 1863-1864. Flores asemeja el ayer y la fe; el hoy y el mañana que emplea en su metáfora se alinean con la fábrica y la técnica de los procesos conocidos como *primera* (vapor) y *segunda* (electricidad) *revolución industrial*.

educativo y su enseñanza), la adopción de un sistema métrico unificado, el decimal (medio esencial de comunicación tanto en el ámbito comercial —comercio interior y exterior— como en el científico y técnico), e incluso afloran a veces cuestiones sobre el lenguaje estético, al apuntarse el múltiple compromiso que supone la intersección de los criterios meramente derivados de las tendencias estilísticas en las bellas artes, los nuevos materiales, los conocimientos resistivos y los procedimientos de cálculo.

Por otro lado, se presenta la evolución de un primer grupo de disciplinas técnicas que exhiben un espectacular desarrollo en la centuria. Naturalmente, en paralelo se consideran elementos del patrimonio generado, tanto físico como documental. No coincidirán por completo los objetivos y los procedimientos de la mecánica racional y los de la aplicada, donde anidan la teoría de máquinas y de mecanismos o la de estructuras y de la construcción, matiz que se repite con la electricidad y la electrotecnia, o con la termodinámica y los motores térmicos, por ejemplo. Aquí los planteamientos se inclinan en parte hacia las segundas líneas enunciadas. También se abordan dos cuestiones importantes de planificación espacial, *máquinas* y *hábitats* con escalas diferentes: las fábricas y las ciudades, dimensiones en las que igualmente se producen cambios sustanciales durante el Ochocientos.

Por tanto, son muchos los temas sustantivos que se posponen. En el próximo volumen se tratarán, entre otros, el geominero, el siderúrgico y metalmeccánico, el agroforestal y de industrias agroalimentarias, el textil y el químico industrial. También la telegrafía y la telefonía, así como las infraestructuras y el material móvil para el transporte, sea terrestre o marítimo, que permitirán la progresiva instauración de un mercado nacional, así como potenciar la interrelación con economías del entorno. Si en este volumen se abordan, entre otros, temas relacionados con la energía, los materiales y la organización, otros pilares de la técnica como la información o disciplinas de la vida serán objeto de estudio en el próximo. La división de los materiales considerados entre el presente y el próximo volumen no tiene en cuenta posibles diferenciaciones de los progresos como pertenecientes a las dos revoluciones industriales que se suelen identificar dentro del Ochocientos, por lo que ambos volúmenes han de contemplarse conjuntamente, como partes de un forzosamente incompleto panorama.

El objeto de esta introducción es, por una parte, reflexionar sobre un par de relaciones entre la técnica y la ciencia en el período, básicamente en el marco de lo que puede encuadrarse como parte de la primera revolución industrial. Por otro lado, la fábrica se considera lugar de concentración de técnica y de trabajo industrial. En otros términos, se presenta como muchísimo más que el edificio, que es el contenedor de instalaciones y maquinaria. Se abordarán algunos aspectos desde el punto de vista arquitectónico, que en su forma ideal seguirá la máxima funcionalista, la cual exalta uno de los tres requisitos básicos de la arquitectura según Vituvio. En conocida expresión de Louis Sullivan, arquitecto de la Escuela de Chicago: «form [should] follows function». Por último, esta presentación concluye con una visión de los contenidos que alberga el presente volumen.

I

DEL SABER HACER Y DEL SABER: TÉCNICAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

Las relaciones entre el saber hacer y el saber teórico cambian sustantivamente durante el Ochocientos³. A lo largo de la centuria se hablará de las ciencias con un sentido de generalidad que requiere matices. Hay que diferenciar las que, centradas en el análisis de la naturaleza, buscan *la verdad* sobre sus comportamientos, desentrañar sus *razones últimas*, y las del ingeniero o de lo artificial, que, contemplando las creaciones técnicas, artefactos en sentido amplio, tienen como objeto su análisis y síntesis, y emplean como criterio epistemológico básico *la utilidad*.

La actividad del ingeniero se articula a través de su intuición, su experiencia, su *arte* y sus conocimientos rigurosos (científicos sobre la naturaleza, en particular), instrumento este último que le diferencia del artesano. Por ello, en la España del XIX, los ingenieros tuvieron un papel esencial tanto en la importación de las ciencias, en su más amplio sentido, como en su desarrollo⁴.

Sin duda alguna, la máquina de vapor es el icono por antonomasia de la Revolución Industrial. Prueba de su aprecio son las siguientes palabras del ingeniero industrial Cipriano Segundo Montesino:

Casi hasta nuestros días todo lo hacía la fuerza muscular del hombre y de los animales, auxiliada por algunas máquinas de las más elementales. Hoy las máquinas perfeccionadas, y en particular la de vapor, a la que *solo parece que le falta la inteligencia para ser considerada como el hombre de hierro*, sustituyen con inmensa ventaja bajo todos conceptos a la fuerza animal, ganando en ello la perfección del trabajo, la economía de las construcciones y *hasta la dignidad del hombre*⁵.

³ En marcos muy diferentes, las relaciones entre técnica y ciencia han sido tratadas en volúmenes anteriores de esta colección. Con la Ilustración como período de referencia, en M. SILVA SUÁREZ: «Del agotamiento renacentista a una nueva ilusión» y en I. GOUZEVITCH y H. VÉRIN: «Sobre la institución y el desarrollo de la ingeniería: una perspectiva europea», ambos en el vol. II: *El Siglo de las Luces: de la ingeniería a la nueva navegación*, 2005, pp. 18-26 y 117-124, respectivamente. Respecto al Ochocientos, en M. SILVA SUÁREZ: «El Ochocientos: de la involución postilustrada y la reconstrucción burguesa» y en J. ARACIL, «Entre la utopía y la invención», ambos en el vol. IV: *El Ochocientos: pensamiento, profesiones y sociedad*, 2007, pp. 37-44 y 132-140, respectivamente.

⁴ Reflejo de ello es que de los 36 miembros fundadores de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (1847), 22 individuos pertenecen al mundo de la técnica (10 facultativos del Ejército y la Armada, 12 técnicos civiles, ingenieros y un arquitecto). Aparte, propiamente universitarios era una decena de personajes.

⁵ Discurso de contestación al ingeniero de caminos Lucio del VALLE: *Influencia que han tenido los progresos de las ciencias exactas en las artes de construcción, y más especialmente en las que entra el hierro por principal elemento*, discurso leído ante la Real Academia de Ciencias en la recepción pública, Madrid, Impr. y Libr. de D. Eusebio Aguado, 1861, p. 42. La cursiva en la cita es nuestra.

Especialista en mecánica, Montesino afirma posteriormente (p. 43) :

En los talleres la vemos mover toda clase de máquinas, hacer toda clase de operaciones; en las minas desagua; en los campos la locomóvil riega, trilla y muele el trigo; en los ferro-carriles recorre la locomotora el espacio con velocidades de hasta 70 millas por hora, y arrastra trenes enormes, cargados de centenares de viajeros o de crecidísimas cantidades de mercancías. En los buques hace que con velocidad suma puedan estos recorrer los mares, desafiando la acción de los vientos, de las mareas y de las corrientes, y dando a las comunicaciones marítimas una fijeza casi independiente de los elementos.

En las obras públicas sirve para desaguar los cimientos de las hidráulicas, clavar las estacas, o hacer el vacío cuando estos consisten en tubos o cajones de hierro, moler los morteros, preparar, trasportar y elevar los materiales; procurando así, a más de la perfección de la obra, una notable economía y una brevedad de ejecución nunca conocida.

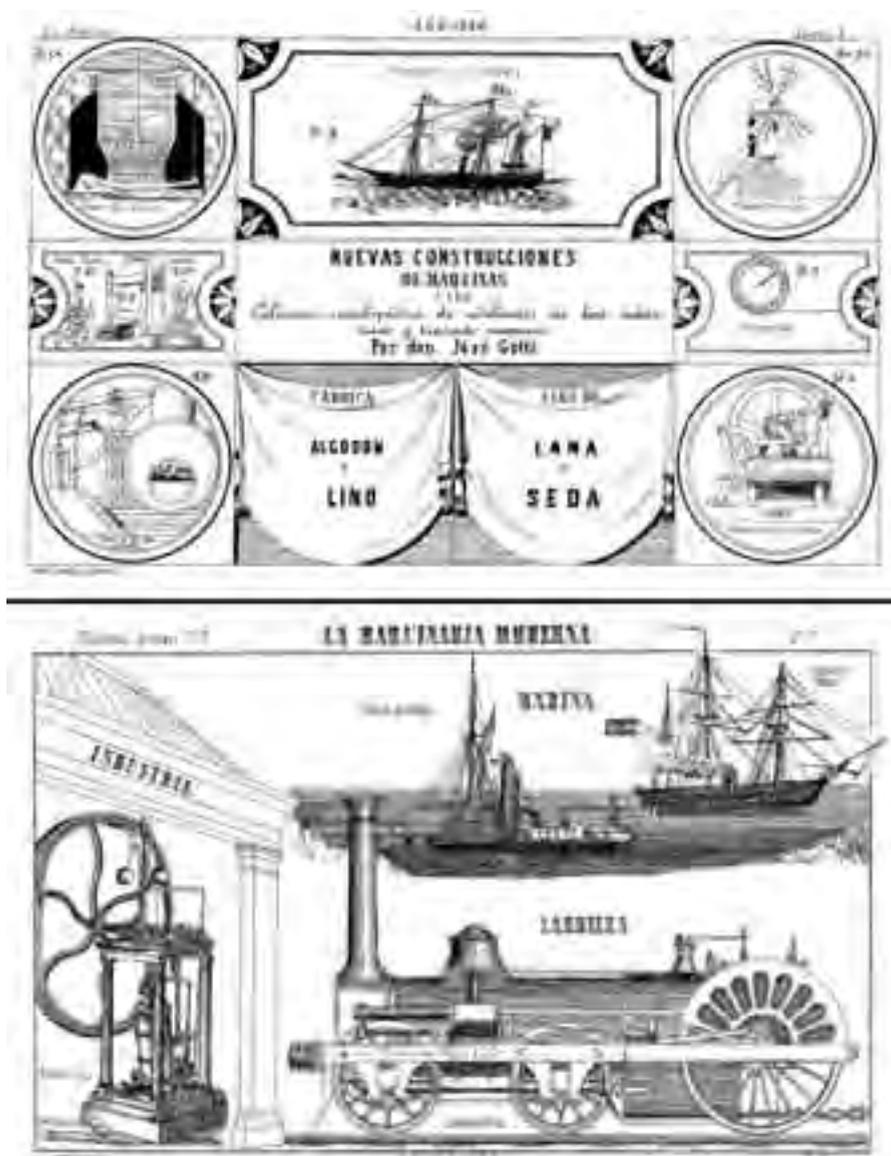
A pesar de su glorioso pasado, hoy en día no es fácil observar máquinas de vapor en funcionamiento. Sin embargo, afectadas de una radicalmente diferente dinámica de obsolescencia, son múltiples las construcciones férreas que, a veces reparadas en muy diversas ocasiones, se pueden contemplar en estado más o menos próximo al original.

Sobre la relación entre artefactos y ciencias, por su importancia técnica y por expresar puntos de vista complementarios, en este prefacio nos centraremos especialmente en las máquinas de vapor y las estructuras metálicas, dos clases paradigmáticas de ingenios del Ochocientos. Sin lugar a dudas, disciplinas más claramente insertas en lo que José Ortega y Gasset calificaba de «técnica impredecible», la contemplación del desarrollo de la química industrial o de la electrotecnia (la «industria científica»), requeriría argumentos adicionales que se posponen para un próximo volumen.

I.1. Del metal a la máquina de vapor y al motor de gas

Como regla general, el avance del conocimiento científico y técnico se caracteriza por la formalización de lo cualitativo en cuantitativo⁶. Transformadas las ideas en teorías, estas se vuelven susceptibles de una investigación más precisa que permite a las disciplinas progresar y aplicar sus saberes a otros campos. Sin embargo, en lo que se refiere al origen de la termodinámica como ciencia, esta se benefició de los resultados que la ingeniería planteaba a sus retos industriales (fundamentalmente a partir del uso generalizado de la máquinas de vapor) en mucha mayor medida de lo que pudo devolver en forma de instrumento para la innovación técnica.

⁶ El empleo de métodos formales cuantitativos en ingeniería ha llevado a decir que «la técnica actual, la que nos llega de la Revolución Industrial, padece de la incontinencia aritmética de la Naturaleza» (J. D. GARCÍA BACCA: *Elogio de la técnica*, Barcelona, Anthropos, 1987, p. 145). En ello subyace la idea galileana de que la naturaleza se rige por leyes escritas en lenguaje matemático.



0.1. Motores en la primera mitad del Ochocientos y dominios de aplicación (J. GOTTI: *La maquinaria moderna, 4 vols. más atlas*, Barcelona, Impr. de José Gaspar, 1859-1861): *Curiosas dos láminas del atlas, la superior, tomando el agua y el aire como vehículos energéticos, y la temperatura como hecho diferencial, habla de motores de agua fría (turbina hidráulica), de agua caliente (máquina de vapor), de aire frío (molino de viento) y de aire caliente (la fecha, 1860, evoca inequívocamente el motor calórico de John Ericsson). Además, se apuntan aplicaciones textiles y, lejos aún de intuir el motor eléctrico, se menciona a la electricidad. «Alojada» en un clasicista cobertizo, en la parte inferior, una máquina de vapor fija de cilindro vertical, representa a la industria; implícitas las hay en una locomotora y en los dos «vapores» (uno de ruedas, el otro de hélice), en representación de los transportes terrestre y marítimo.*

I.1.1. Máquinas de vapor, termodinámica y automática

Aunque a veces olvidado, en el siglo XIX fue un lugar común decir que, «en materia de máquinas de vapor, los hombres de ciencia se han limitado a explicar los progresos después que estos se han realizado prácticamente»⁷. Muy posteriormente, siempre en la misma línea, se ha llegado a afirmar que la máquina de vapor «fue realizada por cabezas duras y dedos inteligentes», por hombres que «carecían de una educación sistemática en ciencia o tecnología»⁸. Pero este tipo de ingenio no solo precedió a la termodinámica: también, por ejemplo, a la automática, que entonces balbuceaba inmersa en la teoría de máquinas y mecanismos⁹.

Sin llegar a identificar «las mejoras que se deben a tantos ilustrados ingenieros y fabricantes como incesantemente concurren a perfeccionar las máquinas de vapor, haciendo de ellas el motor universal», Lucio del Valle señala con claridad las fuentes teóricas básicas que a ello han contribuido, y aboceta un elogio a ese saber hacer:

Sin los notables progresos de la física y de la mecánica sobre las propiedades de los gases y vapores, y sobre las relaciones de sus volúmenes, densidades, temperaturas y fuerzas elásticas, no hubiera sido dable ciertamente crear esos grandes medios de ejecución de los trabajos humanos que, aumentando hasta un punto increíble el poder del hombre, han llevado su acción y el sello de la inteligencia a todos los ramos de la industria en general, en los trabajos sedentarios y movibles, en los que se ejecutan con una fuerza diminuta, en los que la exigen superior, en los que se practican en la tierra y en el mar, en su superficie y en su fondo, y en los que quizá se verifiquen algún día en las regiones de la atmósfera¹⁰.

Con mayor abundancia de detalles, Cipriano Segundo Montesino, en la mencionada contestación al discurso previamente considerado (pp. 42-43), matiza:

Fundada la acción de la máquina de vapor en las dilataciones y contracciones producidas por el calórico en los vapores, preciso era pedir a la física el conocimiento de las leyes que rigen estos fenómenos, a fin de poder aplicarlos para engendrar una fuerza con que producir un movimiento y vencer una resistencia, así como a la mecánica los medios más adecuados para transformar el movimiento rectilíneo alternativo, solo susceptible de emplearse en ciertos trabajos, en circular continuo, de más general aplicación; de regular la acción del motor y de trasmitirla convenientemente al operador, proporcionando la acción de aquel a la resistencia opuesta a este, y valiéndose al efecto para lo primero del péndulo cónico y otros aparatos, y del volante para lo segundo, aplicando el cálculo a todas sus partes.

⁷ J. SERRAT Y BONASTRE, art. cit., 1915, p. 316. La cita acotada es discutida por Serrat en su *matizable* pero interesante discurso de entrada en la RACAB. Lo peculiar del caso es que el nuevo académico, ingeniero industrial, es el ingeniero jefe de la oficina técnica de La Maquinista Terrestre y Marítima (La MTM), la más importante empresa del sector metalmecánico de España en el siglo XIX.

⁸ E. ASHBY: *La tecnología y los académicos*, Caracas, Monte Ávila, 1968, p. 79.

⁹ En esta colección se han hecho apuntes preliminares al respecto en los volúmenes I (2004, pp. 55-56) y IV (2007, pp. 134-136).

¹⁰ L. del VALLE, ob. cit., 1861, p. 9.

Con los adelantos de la mecánica, así teóricos como prácticos, vemos a la máquina de vapor multiplicar sus transformaciones según las circunstancias en que ha de funcionar y los usos a que se destina; y empleando el vapor a presiones varias, haciendo o no uso de la condensación y de la expansión, la hallamos destinada a toda clase de trabajos, desde los más delicados hasta los más rudos.

Ni el primero ni el segundo principio de la termodinámica, en esos momentos ambos ampliamente difundidos, son aludidos, algo que en cierto modo se observa en un importante porcentaje de textos sobre las máquinas de vapor.

Lo enunciado con respecto a la termodinámica y la automática requiere algunas matizaciones. En primer lugar, desbordando ampliamente el espacio de los motores térmicos, la termodinámica se convierte en una disciplina integradora en el mundo de la física. Por ejemplo, el ingeniero industrial Francisco de Paula Rojas, que pocos años después colaborará esencialmente en la introducción de la técnica eléctrica en España¹¹, la define y valora en 1876 de este modo:

La Termodinámica, ciencia que estudia y formula las relaciones entre el calor y los efectos mecánicos, considerándolos respectiva y alternativamente como causa y efecto, es hija de nuestro siglo, y el mayor título de gloria científica que este podrá presentar ante las venideras generaciones.

[...]

Apenas nacida, [permite] iluminar con su clarísima luz los más oscuros fenómenos de la Física, sacándolos del empirismo en que forzosamente se agitaban¹².

En segundo lugar, un motor térmico, sea del tipo que sea, es un ingenio o artefacto, dispositivo inexistente en el mundo natural, creación humana que no responde a una teoría científica única. Como afirma Javier Aracil, en el ámbito de la ingeniería

no hay nada parecido a una teoría T a partir de la cual se desprende el proyecto de un artefacto, como puede ser un avión o un robot. Evidentemente, [...] el proceso de combustión en un motor, o el movimiento de determinadas partes de un robot [...] pueden ser explicados, entendidos o incluso diseñados de forma más eficiente, a partir del conocimiento científico que se tenga de los procesos físicos involucrados. Pero la con-

¹¹ Desde 1883 dirige *La Electricidad*, primera revista dedicada monográficamente al tema en nuestro país. Posteriormente publica su *Tratado de electrodinámica industrial* (1891), calificado en su tiempo como «la Biblia de los electrotécnicos españoles».

¹² F. P. ROJAS Y CABALLERO INFANTE: *Termodinámica: su historia, sus aplicaciones y su importancia*, Barcelona, Luis Tasso, 1876, pp. 1 y 145, respectivamente. La imagen de la ciencia como foco iluminador es clásica. Por ejemplo, Louis Proust la emplea para afirmar el potencial aplicativo de la química: «era ya tiempo de iluminar el caos de las fundiciones con la antorcha de la química» (*Discurso que en la abertura del Real Laboratorio de Química del Real Cuerpo de Artillería, establecido en Segovia, pronunció don [...], profesor de Química del expresado Real Cuerpo*, Segovia, Antonio Espinosa, 1792, p. XLIV). Mucho más allá de los fundamentos de la disciplina y de su consideración en el ámbito de la mecánica aplicada, la monografía de Rojas aborda temas como la termodinámica y la química, la astronomía o la metafísica.

cepción global del avión o del robot es el resultado de un acto de creación, de síntesis de diferentes subprocesos, ajeno, aunque condicionado, a lo que entendemos por aplicación de la ciencia¹³.

En resumen, la termodinámica cubre bastante más que la conceptualización de los motores térmicos, al tiempo que el estudio de estos requiere marcos conceptuales que no competen en absoluto a la termodinámica. Por ejemplo, por la termodinámica se sabe que el rendimiento del motor será tanto mayor cuanto mayor sea la diferencia de temperatura de los focos caliente y frío¹⁴, pero ello involucra otros saberes. En efecto, elevar la temperatura del primero puede llevar a presiones peligrosas, con evidente riesgo de que se produzca una explosión, lo que con cierta frecuencia ocurrió con las máquinas de vapor¹⁵. En otro sentido, las elevadas temperaturas de vapor sobrecalentado o de otro vehículo térmico, como el aire, tienden a reseca las juntas o a entorpecer las lubricaciones y dan lugar a malos funcionamientos. Por ello hace falta considerar los conocimientos sobre los materiales y las técnicas de fabricación y montaje (tolerancias, acabados, resistencias, estanqueidades, etc.).

Otro ejemplo de lo que se dice es la interrelación que se establecerá entre la máquina de vapor (James Watt) y la barrenadora-mandrinadora. En efecto, en 1775 John Wilkinson desarrolló una mandrinadora horizontal de precisión, de modo que se pudieron fabricar máquinas de vapor con cilindros de mucho mejor acabado, lo que las hizo muy superiores en rendimiento energético. En clara sinergia, como se disponía de mejores máquinas de vapor, fueron abandonándose las hidráulicas, mejorándose al mismo tiempo los procesos de mandrinado. Es decir, se estableció un ciclo cerrado de relaciones técnicas de mejora¹⁶. Por otro lado, para perfeccionar los

¹³ J. ARACIL: *Humanidades e ingeniería*, conferencia pronunciada en la Universidad de La Laguna el 28 de mayo de 2000. Para una discusión en mayor amplitud, véase J. ARACIL: *Fundamentos, método e historia de la ingeniería: una mirada al mundo de los ingenieros*, Madrid, Síntesis, 2011, pp. 245-248.

¹⁴ Mucho antes de que se clarificara y difundiera el segundo principio de la termodinámica, y, por tanto, se pudiera determinar el rendimiento teórico de un ciclo térmico, los mecánicos buscaban, dentro de la racionalidad técnica, el mayor salto de presiones, es decir, aumentar *razonablemente* el empuje en el cilindro, lo que está en natural correlación con el salto térmico.

¹⁵ Debido a las limitaciones técnicas sobre materiales y procesos constructivos, Watt optó por la prudencia, por lo que sus desarrollos son máquinas de vapor atmosféricas. Los riesgos de estallido se incrementarán sustancialmente con el desarrollo de calderas de alta presión. Reflejo de esta preocupación fue el concurso convocado en 1893 por la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona, en el que se premió la obra *Explosiones de generadores de vapor*, del ingeniero Guillermo J. de GUILLÉN GARCÍA (Barcelona, Impr. de Pedro Ortega, 1895).

¹⁶ Un siglo después, al exponerse unos comentarios sobre la maquinaria presentada en la Exposición de Bruselas de 1874, aún se hacían reflexiones como la siguiente: «Finalmente se nota, de una manera general, en la manera de concluir la mayor parte de las máquinas, los efectos del empleo de unas herramientas que se perfeccionan cada día más y que permiten ejecutar todos los detalles con una precisión que no se encontraba antes más que en ciertas construcciones mecánicas especiales» (Henri DESCHAMPS: «Las máquinas de vapor de pistón», *ROP*, n.º 1.911, 1875, pp. 473-476, esp. p. 476).

ciclos de trabajo fue necesario el desarrollo de sofisticados y delicados *mecanismos*, cuestiones que son objeto de la cinemática y la dinámica de máquinas, también los aspectos centrales de su cálculo, construcción y ensayo¹⁷.

Como última apreciación, valga recordar que estos motores trabajaban en entornos con condiciones de carga que sufrían importantes perturbaciones. Por ello se planteó críticamente el problema de la *regulación* (en su forma más elemental: cómo forzar a que el motor trabaje a velocidad constante, a pesar de los cambios en las condiciones de operación). La adición de volantes de inercia ayudó a obtener movimientos más homogéneos (algo muy necesario en el mundo de la industria textil, por ejemplo)¹⁸, pero hicieron falta otros dispositivos de control y mando mucho más sofisticados, basados en el concepto de *realimentación*. Si la máquina de vapor precedió a la termodinámica en tanto que disciplina científica, podría decirse que análogo papel catalizador tuvo con la formalización de la *automática*, donde los trabajos teóricos sobre la estabilidad de la regulación del movimiento proporcionan las referencias iniciales de la disciplina. Entre estos se han de destacar los debidos al físico inglés J. C. Maxwell, *On governors* (1868), en un marco esencialmente teórico, y al matemático e ingeniero ruso I. A. Vyshnegradskii, *Mémoire sur la théorie générale des régulateurs* (1876), centrado en el diseño ingenieril¹⁹.

En este punto quizás convenga una digresión sobre los *reguladores centrífugos*, pendulares cónicos o isócronos. Adaptados e incorporados a las máquinas de vapor en 1788 por James Watt²⁰, no son dispositivos de su invención. En efecto, una paten-

¹⁷ Véase, en este volumen (cap. 11), J. I. CUADRADO IGLESIAS y E. BAUTISTA PAZ: «La teoría de máquinas y mecanismos: desarrollo y difusión de una nueva ciencia».

¹⁸ Actúan como una suerte de *filtro paso bajo*, es decir, como atenuador de ruidos o discrepancias de relativamente alta frecuencia, aunque nada pueden ante las perturbaciones de baja frecuencia (i. e., larga duración).

¹⁹ Maxwell publica, en los *Proceedings of the Royal Society* de Londres, una caracterización teórica cuya solución computacional eficiente —debida a Routh— no vio la luz hasta 1877; curiosamente, el interés por el estudio de la estabilidad se vio estimulado por las mejoras del mecanizado, que reducía rozamientos y, por consiguiente, coeficientes de amortiguamiento. Es decir, mejoras constructivas locales llevaron a comportamientos globales deteriorados. Vyshnegradskii da a luz, en los *Comptes Rendus de l'Académie de Sciences* de París, bases para un análisis estructural paramétrico y consejos para la síntesis.

²⁰ Ilustrado escocés que sobresale como investigador técnico, James Watt (1736-1819) revoluciona por completo el concepto de máquina de vapor de Newcomen, perfeccionado por Smeaton, entre otros. Como reconoce M. ARAGO en su *Éloge historique de James Watt* (París, Institut Royal de France, 1839, p. 51), transforma las bombas de achique en motores universales. Entre sus aportaciones se encuentran la separación del condensador del cilindro motor, la protección del cilindro con una camisa de vapor, la introducción de efectos motores en los dos sentidos del movimiento del émbolo (doble efecto), el mecanismo del paralelogramo, para la transformación del movimiento alternativo en circular, y la adaptación-incorporación del péndulo cónico o regulador centrífugo. Reticente al empleo de altas presiones por cuestiones de seguridad, Watt intuyó el papel de las expansiones múltiples.

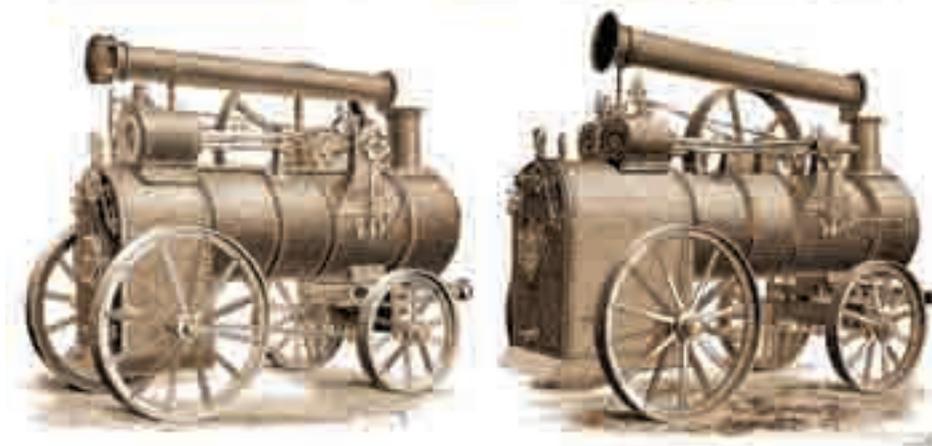
te de Thomas Mead de 1787 (*British patent* n.º 1628) presenta un regulador centrífugo para el control de los molinos de viento. Su objetivo era «la mejor y más regular recogida y desplegado de las aspas de los molinos sin la asistencia constante de un hombre»; en definitiva, potenciar la atenuación-rechazo de las perturbaciones que la variabilidad de los vientos y del grano que se había de moler producían sobre el comportamiento del molino. Pero, además, puede añadirse que el mecanismo era conocido incluso antes de ser patentado por Thomas Mead²¹. Es decir, hablar, como se hace con excesiva frecuencia, del «regulador de Watt» es inapropiado²². Pero en las máquinas de vapor se incorporaron otros reguladores: por ejemplo, los de nivel de agua en las calderas.

Cerrando esta digresión, procede matizar que, si la regulación de las máquinas de vapor, principalmente en el sector textil, contribuyó al inicio de la formalización de la automática, el mando de los grupos de vapor de los grandes buques —potencias de muchos centenares o millares de caballos de vapor— introdujo la necesidad de los *servomecanismos* (mecanismos «seguidores de consigna») para dirigirlos y estabilizarlos²³.

²¹ O. MAYR: *The origins of feedback control*, Cambridge (Massachusetts), The MIT Press, 1970, pp. 90-118. Por ello Watt decidió no patentarlo; es preciso observar que, a pesar de lo que se suele afirmar, su patente n.º 1432 (de 1784) no menciona el regulador (véanse p. 112 y n. 213). Mayr incluso duda de que Watt tomara conciencia de la importancia del concepto de realimentación, que es crucial en el regulador que incorporó. Véase también S. BENNETT: *A history of control engineering, 1800-1930*, Londres, Peter Peregrinus (IEE Control Engineering Series, 8), 1979 (esp. cap. 2: «The regulation of prime movers», pp. 7-50). Mecanismo primitivo, el regulador centrífugo incorpora sensor y actuador en un único dispositivo, sin existir un amplificador de potencia que los aísle. Debido al considerable rozamiento que presentaban, al principio estos reguladores funcionaron aceptablemente, pero la mejora del mecanizado redujo rozamientos induciendo —aparente paradoja— oscilaciones inaceptables. Es decir, ¡una mejora mecánica local empeoraba el comportamiento global!, propiedad, por otro lado, frecuente en multitud de sistemas complejos.

²² Incluso se sabe que la incorporación del regulador centrífugo se hizo no a iniciativa de Watt, sino a sugerencia del propio Boulton. En cualquier caso, en todos los ámbitos es frecuente asignar a personajes destacados más hechos de los que realmente les corresponden.

²³ La primera definición de este tipo de ingenio aparece en el libro *Le servo-moteur ou moteur asservi* (1873), del ingeniero especialista en máquinas de vapor e inventor Jean FARCOT. En él se recogen las propuestas técnicas de la empresa Farcot et Fils, ubicada en Saint-Ouen (Seine-Saint-Denis, Francia): «Asservir tout moteur au gouvernement absolu d'un conducteur *en faisant cheminer* directement au par un intermédiaire quelconque, *la main de celui-ci, avec l'organe sur lequel agit le moteur*, de telle sorte que tous les deux marchent, s'arrêtent, reculent, reviennent ensemble, et que le moteur suive pas à pas le doigt indicateur du conducteur dont il imite servilement tous les gestes. Nous avons cru qu'il était nécessaire de donner un nom nouveau et caractéristique à cet engin nouveau et l'avons appelé *servo-moteur* ou *moteur asservi*» (S. BENNETT: ob. cit., esp. cap. 4: «The development of servomechanisms»; la cita, en pp. 100-101).



0.2. La locomóvil, máquina de vapor transportable merced a ruedas, pero rara vez automóvil: Por ejemplo, en los campos fue usada para regar, trillar o moler; en las obras públicas, para desaguar cimientos, clavar estacas o moler, transportar y elevar materiales; útil en numerosas industrias que exigían desplazamientos del motor.

1) La primera locomóvil fabricada en España de la que se conoce una descripción textual lo fue por Hijos de Heredia (Málaga, 1877) y se exhibió en la Exposición Internacional de París del año siguiente; el cartel de la feria malagueña de 1900 muestra una locomóvil como fondo, evocando el saber hacer técnico en un marco festivo; 2) Locomóviles de uno y dos cilindros de La MTM, empresa que empezó a construir este tipo de ingenios a comienzos de la década de 1880 (C. CAMPS ARMET: Diccionario industrial: artes y oficios de Europa y América, vol. v, Barcelona, A. Elías y C.^a, s.f., h. 1890).

I.1.2. Con la máquina de vapor como telón de fondo: dos visiones sobre la ingeniería y la ciencia

Ingeniero industrial (Barcelona, 1889), José Serrat y Bonastre fue profesor de la Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao y posteriormente ingeniero jefe de la oficina técnica de La Maquinista Terrestre y Marítima (La MTM). Titulado por la misma escuela (Barcelona, 1902), José de Igual, profesor en la Escuela Central de Ingenieros Industriales de Madrid, tendrá responsabilidades políticas. Sobre la formación en ingeniería ambos mantuvieron concepciones que difirieron sustancialmente, e incluso llegaron al enfrentamiento dialéctico con las matemáticas necesarias como objeto de debate²⁴. En esta ocasión no se puede hablar de enfrentamiento, pues se consideran manifestaciones con más de un lustro de diferencia y en ámbitos y con objetivos diferentes: uno abogando por el imperioso desarrollo de los niveles técnicos intermedios en 1908, el otro —con motivo de su discurso de entrada en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona (RACAB) en 1914— pidiendo lo propio para los niveles superiores, solicitando hasta el grado de doctor ingeniero.

José de Igual prologa la monografía del también ingeniero industrial (Barcelona, 1903) Juan ROSICH Y RUBIERA sobre *Máquinas de vapor: calderas, máquinas de émbolo y turbomotores*²⁵. Afirma el interés de la escritura de textos en español frente a la traducción de obras foráneas y reconoce que (p. VIII)

la máquina clásica de vapor está hoy, si no en crisis, al menos en discusión ante los avances de las turbinas y los motores de gas, atacada por las primeras por la sencillez, y por los segundos, por la economía. [...] [Es] objeto de críticas certeras, lo que no le disminuye su actual predominio, y su triunfo inmenso de tener por hijas a sus rivales de hoy, mucho más aún que la turbina, la máquina de gas.

Pensando en la necesidad de diferentes niveles de técnicos, ingenieros incluidos, considera, un tanto utilitaristamente, que (pp. IV y VII)

No necesitamos en España libros de alta ciencia que estudien los altos problemas hoy planteados; necesitamos libros de vulgarización técnica que hagan buenos obreros e ingenieros expertos capaces de formar la clase media industrial de esos *practicones* científicos que traemos continuamente del extranjero y que son en todas partes la gran masa directora de la producción industrial.

[...] [Hacen falta] muchos buenos obreros, muchos ingenieros prácticos incapaces quizá de inventar una nueva teoría pero aptos para construir, instalar y dirigir cuantas máquinas sean precisas; porque, creado este elemento, ya surgirán los verdaderos inventores y podrán prosperar sin la falta de ambiente industrial que hoy lamentan para su propaganda.

²⁴ Sobre la diferencia de posiciones entre estos dos personajes en el debate relativo a las matemáticas necesarias para la ingeniería, véase «La polémica de José Serrat Bonastre con José de Igual (1908)», sección IV.2 del capítulo 5 de este mismo volumen (G. LUSA MONFORTE: «Debates sobre el papel de las matemáticas en la formación de los ingenieros civiles decimonónicos»).

²⁵ Barcelona, Manuel Marín, 1908. Fue escrita para el nivel correspondiente a escuela de Artes y Oficios.

[...]

Después de cursar una carrera científica y técnica se da uno cuenta perfecta de las teorías inútiles de que se atiborran nuestros cerebros. [...] Menos teoría y más práctica sin que esto suponga el desprestigio de la primera, que es al fin y al cabo, en sus justos límites, la generalización de la segunda, pero no nos dejemos arrastrar por las divagaciones científicas porque esto tiene el peligro de separarnos de la comprobación experimental, y en la producción industrial para un sabio calculista que invente nuevos procedimientos de demostración y nuevas teorías se necesitan muchos *practicones*, que son por rara casualidad lo que vamos buscando al extranjero para nuestros ferrocarriles, nuestros astilleros, nuestras fábricas, nuestras industrias.

Sin que se tenga que minorar la importancia de una buena literatura de vulgarización científica y técnica, esencial para crear un sustrato social apropiado al desarrollo, en su discurso de entrada en la academia de ciencias barcelonesa, muy adecuado para la ocasión, Serrat hace en 1914 un elogio de la investigación científica, al tiempo que constata una evidencia: «que la máquina de vapor se bate en retirada». No obstante, en relación con el motor por excelencia de la Revolución Industrial, se ha de reconocer que, previamente al establecimiento de la termodinámica como disciplina científica (i. e., enunciados y admitidos sus dos principios básicos), son conocidas y practicadas técnicas como el empleo de presiones elevadas o de vapor recalentado, el uso de la expansión del vapor en el cilindro o de máquinas multicilíndricas (expansión múltiple, en particular), también la conveniencia de las camisas de vapor protegiendo los cilindros, por ejemplo. En cualquier caso, es innegable que la termodinámica —en particular, las leyes sobre gases y vapores— ayudó a explicar *a posteriori* los porqués de algunas de las mejoras que se obtenían, incluso a aproximar cuantificaciones. El experimentar para diseñar, *ciencias de lo artificial*, de ingenieros autodidactas como James Watt o Gustave-Adolphe Hirn, para quienes la fábrica era el laboratorio, o de los así educados como John Smeaton, Émile Clapeyron, Marc Seguin y muchos otros, hizo que el consumo en kilogramos de carbón por caballo de vapor-hora descendiera desde los 13 en la máquina de Newcomen a los 7 en la de Smeaton, pasara por los 3,5 en la de Watt, y llegara a los 0,6 con vapor recalentado, ya en los comienzos del siglo xx²⁶. En todo ello —no se puede olvidar— desempeñó un papel absolutamente esencial la disponibilidad de nuevos materiales, mecanismos, máquinas, herramientas, técnicas de construcción mecánica, etc. Y, aunque nos saca del marco cronológico en que se sitúa este volumen, un apunte adicional del ingeniero de La MTM, que reconoce los perfeccionamientos en los sistemas de distribución y regulación, así como en los

aparatos de condensación en que estos últimos años han sido objeto de notables mejoras, sobre todo en lo que se refiere a la obtención del vacío teórico, es decir, al vacío correspondiente a la temperatura de condensación.

²⁶J. SERRAT Y BONASTRE, art. cit., 1915. Datos, en pp. 323, 328 y 336, respectivamente.

Por este medio, con la expansión prolongada que permite la turbina de vapor y el empleo de vapor recalentado a altas presiones, el ciclo de la máquina de vapor se acerca cada día más al teórico, y este, a su vez, extrema la diferencia de temperaturas con el consiguiente aumento de rendimiento que llega hoy día cerca del 15 por ciento, cuando en las primeras máquinas de Watt no se pasaba mucho del 2 y en las primitivas de Newcomen del 1, aun después de modificadas por Smeaton²⁷.

E inmediatamente constata que

La aparición moderna de los motores de combustión interna, cuyo ciclo oscila entre temperaturas mucho más distantes, ha permitido llegar a rendimientos de hasta 30 por ciento, de modo que la máquina de vapor se vería pronto anulada si el mayor coste del petróleo que el motor de combustión interna necesita no compensara casi siempre la diferencia de rendimiento.

[...] Por otra parte, la lucha entre los dos tipos de motores ha obligado a los industriales a valerse cada día más de ingenieros que posean un grado elevado de cultura técnica y, respondiendo a esta necesidad, la enseñanza de la mecánica aplicada se hace cada día más vasta²⁸.

José Tous y Biaggi es el académico que tiene a su cargo el discurso de contestación a Serrat. Se refiere al recipiendario como ingeniero «práctico sin degenerar en rutinario, y científico sin divagar por el campo de las hipótesis», algo que trasluce, por ejemplo, cuando Serrat se pronuncia por el desarrollo de laboratorios de mecánica en las escuelas de Ingeniería. Se trata de un nuevo modelo de enseñanza que se ha dado en llamar *ingeniería de laboratorio*²⁹. Es idea que se generaliza con el cambio de siglo, particularmente con la técnica que embebe la denominada *segunda revolución industrial*. En ella se manifiesta el interés por la investigación y el desarrollo científico-técnico, así como por la homologación y el ensayo de materiales y equipos. Pero no cabe olvidar que en numerosas especialidades el laboratorio es un medio incompleto, no un fin, ya que, fuera de los estrechos límites de un experimento, la realidad se impone siempre en el campo, el mar o la fábrica, por ejemplo. En este sentido, Serrat apuesta por la formación de doctores ingenieros, análogamente a lo que, por ejemplo, ya se hace en Alemania, y constata que

se ha iniciado en estos últimos años [...] una tendencia manifiesta a subdividir los estudios técnicos en dos grandes grupos independientes de las especialidades; el uno, común a todos los ingenieros, abarcaría solamente los conocimientos que son de inmediata aplicación al ejercicio de la carrera, fundamentados sobre sólida base teórica; el otro se reservaría solamente para un corto número de elegidos que ampliarían sus conocimientos con miras a la investigación científica en su relación con las aplicaciones a la industria³⁰.

²⁷ *Ibíd.*, p. 341.

²⁸ *Ibíd.*

²⁹ A. ROCA ROSELL: «L'enginyeria de laboratori, un repte del nou-cents», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, I (1996), pp. 197-240.

³⁰ J. SERRAT Y BONASTRE, art. cit., 1915, p. 341.

I.1.3. Una perspectiva complementaria: la de un reputado constructor de motores de combustión interna

Si José Serrat es constructor de motores y clama por la existencia de ingenieros investigadores, Hugo Güldner es doctor ingeniero, constructor que colabora estrechamente con Rudolf Diesel y termina dirigiendo su propia compañía, la Güldner-Motoren-Gesellschaft de Aschaffenburg, empresa en la que participa Carl von Linde. Autor de un texto muy conocido, que en su tercera edición fue traducido al castellano, ya en el prólogo a la primera edición alemana (1903) es muy categórico:

El motor de combustión interna debe su creación y desarrollo al ensayo y a la experiencia. Todos los perfeccionamientos de que ha sido, y es todavía, objeto proceden del campo industrial propiamente dicho [...].

Las nuevas producciones de la ingeniería de la construcción de motores no llegan al público hasta que alcanzan su mayor grado de perfeccionamiento; entonces es cuando se inicia la investigación científica, que toma como objeto de estudio (salvo raras excepciones) el aspecto termodinámico de los ciclos de trabajo, y se limita por tanto, desconociendo las condiciones de la realidad, a un terreno que constituye solo una pequeña parte del campo de acción que en la práctica se ofrece al técnico que se dedica a la construcción de motores, y aun para este no tiene, ni con mucho, la importancia que frecuentemente se le atribuye.

[...] Esta crítica no debe alcanzar a la investigación termodinámica propiamente dicha, sino tanto al concepto exagerado que de ella se tiene como auxiliar en la técnica de la construcción de motores como a la parcialidad que rebosan los tratados sobre tales máquinas³¹.

Declara que sus afirmaciones se basan en quince años de experiencia construyendo motores, en los que se incluye la última década del Ochocientos, lo cual le permite asegurar que las relaciones constructivas y cinemáticas son mucho más importantes:

Mientras tomos enteros se dedican al estudio termodinámico del motor de combustión interna, el estudio mecánico del mismo se agota en algunas páginas [...].

La solución de este importante problema sobrepasa el campo de la termodinámica, perteneciendo en realidad al conjunto de las ciencias técnicas, y en ella puede colaborar cualquier constructor experto³².

En lo comentado del texto de Güldner quedan explícitas algunas ideas básicas, materia para la reflexión, algo que ya avanzamos en el primer volumen de esta colección; en particular, lo intencionalmente sesgado y erróneo de los planteamientos causales estrictos que sitúan en primer lugar a la ciencia o teoría y después a la técnica o la práctica, olvidando

³¹ H. GÜLDNER: *Motores de combustión interna y gasógenos*, traducido de la 3.^a ed. alemana (1921), y ampliado por M. Lucini, Barcelona, Labor, 1928, pp. VI-VII.

³² *Ibidem*, p. VII.

que un artefacto es muchísimo más que la simple concatenación de resultados científicos que pueden ayudar a su concepción y que, además, existen objetivos y restricciones de índole socio-económica con los que la primera [la técnica] ha de desenvolverse y que la ciencia no considera en absoluto.

Adicionalmente, el planteamiento unidireccional ignora la existencia de conocimientos técnicos empíricos relevantes no integrados en teorías científicas, a veces originados en trabajosos protocolos de ensayo y error o en la mejora cotidiana del saber hacer, transmitidos dentro de la cultura particular de la empresa o corporación que la genera³³.

Para terminar con estas reflexiones, valga apuntar el imperativo y provocativo «¡Menos inventar y más construir!», una de las «Observaciones fundamentales» del comienzo de la segunda parte del libro, la dedicada al «Cálculo y construcción de los motores de combustión interna»³⁴.

1.2. Del metal a la estructura: la construcción con hierro

Si en la sección anterior ha prevalecido la idea de artefactos o ingenios dinámicos, tanto en el aspecto mecánico como en el térmico, en esta nos limitamos a reflexiones básicas sobre la estática, con alguna mención ocasional a la hiperestática, que, no obstante, acoge desarrollos fundamentales en el siglo XIX. En otros términos, manteniendo como referente material el hierro y derivados, cambiamos los motores por las estructuras férreas en el ámbito de la construcción de edificios o de puentes, también símbolo de la Revolución Industrial.

En 1861 Lucio del Valle sintetiza la revolución constructiva desde las reticencias y la minusvaloración de su uso hasta el empleo paradigmático:

No han pasado aún muchos años desde la época en que se proscribía el uso del hierro como un inconveniente para la seguridad de las edificaciones, como un defecto de buena construcción, como una prueba de la escasez de recursos en el autor del proyecto. Muy lejos estoy de criticar en absoluto aquellas reglas, en que había mucho de fundado, si bien se resentían del atraso en la fabricación del hierro, de la falta de un conocimiento exacto sobre su resistencia a las diversas fuerzas a que puede hallarse sometido, y de la carencia de medios químicos para evitar su degradación.

[...] [Hoy las posibilidades edificatorias] se han ensanchado prodigiosamente con el uso del hierro en sus diversas formas y estados, imprimiendo un sello característico a las construcciones modernas³⁵.

³³ M. SILVA SUÁREZ: «Sobre técnica e ingeniería: en torno a un *excursus* lexicográfico», en el vol. I de esta misma colección: *El Renacimiento*, 2004, p. 60 (2.^a ed. ampl., *El Renacimiento: de la técnica imperial y la popular*, 2008, p. 64).

³⁴ H. GÜLDNER, ob. cit., p. 62. En cierto modo es antitético con respecto al «¡Que fabriquen ellos!» que con melancólica ironía antetítulo el trabajo de F. CAYÓN y M. MUÑOZ RUBIO «¡Que fabriquen ellos! La fabricación de locomotoras de vapor en España: ¿una ocasión perdida para la industria?», en P. Pascual Doménech y P. Fernández Pérez (eds.): *Del metal al motor*, Madrid, Fundación BBVA, 2007, pp. 287-344. Este antetítulo tiene una evidente dependencia del lapidario y desafortunado «¡Que inventen ellos!» unamuniano.

³⁵ L. del VALLE, ob. cit., 1861, p. 11.

El gran desafío nace del empleo de materiales artificiales, fabricados industrialmente, lo que conduce al problema constructivo de encontrar estructuras «adecuadas»:

De veinte años acá, estos progresos [industriales] se refieren especialmente a la preparación de los elementos de las construcciones, y se han manifestado por un carácter general, a saber: sustitución *de los productos y materiales naturales por los manufacturados y artificiales*.

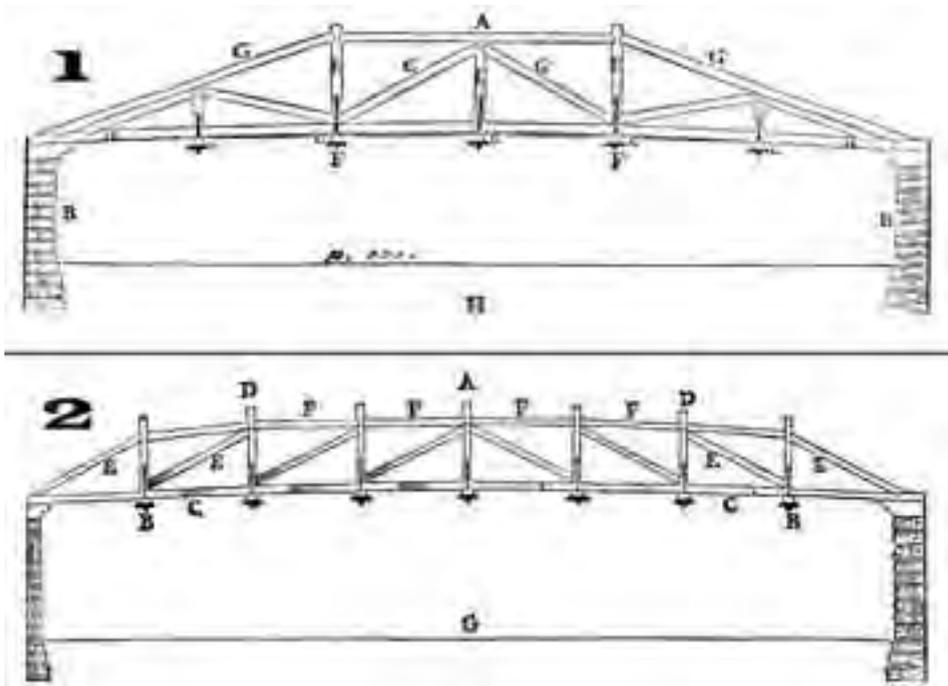
[...] ningún adelanto notable podría hacerse en el arte de las construcciones sin que se resolviera de antemano el gran problema siguiente: *dar al hierro formas tales y de tal modo combinadas que, bajo las cargas que hubieran de soportar, cada elemento estuviese sometido a esfuerzos en relación con su resistencia; o en otros términos, disponer el metal de manera que ninguna porción de este quedara inútil o mal empleada durante el trabajo de resistencia que se opera bajo las cargas permanentes y accidentales*³⁶.

Los nuevos materiales resistentes (fundición, hierro dulce y laminado, y acero, principalmente) permitieron construcciones más baratas y rápidas. Además, de este modo se eliminaron soportes intermedios, con lo que se obtuvieron grandes luces, imponentes naves diáfanas, fuesen fabriles, para estaciones de ferrocarril o para higiénicos mercados urbanos, por ejemplo. En perfecta complementariedad, los nuevos vidrios, mucho más resistentes, fabricados industrialmente en tamaños importantes, cubrieron grandes paramentos y se potenció la iluminación natural a la vez que se eliminaba peso muerto en las obras. Además, nuevos saberes con base científica y técnica —clarificación conceptual y manejo cuantitativo de fuerzas y momentos, también de módulos resistentes y deformaciones— permitieron innovar en las estructuras resistentes, lo que permitió una nueva estética. El ingeniero primero, posteriormente el arquitecto, terminaron investigando y diseñando esas formas constructivas desde saberes rigurosos y contrastados.

Debido a su resistencia tanto a tracción como a compresión, aunque capaces de soportar cargas diferentes, materiales como el acero permitieron salvar espacios antes unimaginables. En particular, pero no exclusivamente, esto se hizo mediante vigas planas en celosía o de grandes mallas, estructuras básicas para la construcción basadas en elementos lineales, aunque con evidentes precedentes en madera. Entre los antecedentes más significativos se encuentran las cerchas construidas desde tiempos inmemoriales para sostener cubiertas de edificios o las vigas para soportar puentes lígneos, por ejemplo.

Centrados en este último tipo de construcción, se puede reseñar la descripción «notarial» que realiza Andrea Palladio (1518-1580) del puente del río Cismone (fig. 0.3.1). Partiendo de que se trata de un curso veloz por el que con frecuencia bajan troncos apeados, concluye que el puente no debe tener pilares («no poner palos en el agua», i. e., estructura de ojo único). Lo cataloga con los tres condicionantes genéricos que Marco Vitruvio Polión (siglo I a. C.) emplea en su conocido *De architectura* para enjuiciarla:

³⁶ *Ibidem*, p. 17. La cursiva corresponde al original.



0.3. «De invenciones según las cuales se pueden hacer los puentes de madera sin poner palos en el río», según A. PALLADIO, en Los cuatro libros de arquitectura (1570): 1) Puente del Cismone; 2) Puente alemán. Esta segunda invención emplea la que en 1840 se patentará como viga plana de tipología Howe metálica (véase fig. 10.4).

La invención de este puente, a mi juicio, es muy digna de consideración, porque podrá servir en todas las ocasiones en las que se tuvieran dichas dificultades, y porque los puentes así hechos vienen a ser fuertes, bellos y cómodos. Fuertes porque todas sus partes se sustentan recíprocamente; bellos porque el entramado de las maderas es gracioso; y cómodos porque son llanos y al mismo nivel del camino. El río, en el sitio donde se construyó este puente, tiene de anchura cien pies³⁷.

Conviene apuntar elementos de su descripción, que es meramente textual y gráfica. Sustentado por dos pilastras de piedra en las orillas, el lecho y la anchura del puente se forman con «maderos»,

sobre los cuales, dejando un poco de espacio en sus extremidades, se pusieron otros dos a lo largo que delimitan los bordes; encima de estos, perpendiculares a los primeros se dispusieron a una y otra parte los *colonnelli* (así llamados comúnmente los maderos que en obras semejantes se ponen verticalmente). Estas péndolas sujetan a los maderos que hacen la anchura del puente, con hierros que denominamos arpones

³⁷ A. PALLADIO: *Los cuatro libros de arquitectura*, Venecia, Domenico de Franceschi, 1570; trad. cast., Madrid, Akal, 1988, p. 283.

[...]; así que hacen toda la obra unida de tal suerte que los maderos que dan la anchura y los de los bordes forman, juntos con las péndolas, como una sola pieza, y de esta manera las péndolas vienen a sustentar los maderos que hacen la anchura del puente, y a su vez son sustentados por los brazos que van de una péndola a otra. Por lo que todas las partes se sustentan unas a otras y están de tal modo que cuanta más carga haya sobre el puente tanto más estrechamente se juntan y hacen mayor la estabilidad de la obra. Dichos brazos y otros maderos que hacen el entramado del puente no son de anchos más de un pie ni de grueso más de tres cuartos. Pero los maderos que hacen el lecho del puente, es decir, los que son puestos a lo largo, son mucho más delgados³⁸.

Posteriormente Palladio plantea otros tres diseños de vano único. El representado en la fig. 0.3.2, del que refiere su existencia en Alemania, está igualmente compuesto de maderos a lo ancho y a lo largo (estos últimos delimitan los *bordes*, cordones), péndolas (piezas verticales), brazos (piezas inclinadas) y arpones de hierro: «cada brazo sustenta su péndola y cada péndola sustenta al madero de la anchura y los que hacen los bordes, por lo que cada parte recibe su carga»³⁹. Su estructura es *análoga* a la de las vigas planas trianguladas Howe⁴⁰. Sin que sea estrictamente cierto, por las posibilidades de los nuevos materiales industriales y de los métodos de cálculo que posibilitarán diseños materialmente efectivos, en este punto no resulta fácil evitar la evocación del célebre adagio «Nihil novum sub sole». Finalmente, Palladio presenta otros dos diseños interesantes en los que se aproximan formas en arco, y concluye con un excesivamente rotundo: «Los puentes de estos cuatro tipos se podrán hacer largos como requiera la necesidad, agrandando proporcionalmente sus partes» (p. 288).

Si las formas estructurales descritas por Palladio surgen de la creatividad y la intuición de los carpinteros constructores y son sancionadas por la experiencia, no cabe duda de que sus argumentos son técnicamente incompletos, y, por ejemplo, ni siquiera llega a especificar tipos de maderas o a cuantificar secciones en los *maderos*, *brazos* o *péndolas*, datos que formarían parte de las reglas del arte. En ese sentido, los textos hispanos que forman el «racimo» de *Los veintiún libros de los ingenios y las máquinas* ofrecen algún dato más, aún claramente precientífico, excesivamente

³⁸ *Ibidem*, pp. 283 y 284. En las vigas en celosía o de grandes mallas (v. las figs. 0.5*b*, 0.5*c* y 0.5*d*) se emplean actualmente las siguientes denominaciones: se llama *cordón superior* (en las cerchas, *par*) al conjunto de elementos que forman la cabeza superior; *cordón inferior* (en las cerchas, por trabajar usualmente a tracción, *tirante*), al conjunto de elementos que forman la cabeza inferior; *montantes* y *diagonales*, a las barras verticales e inclinadas, respectivamente, dispuestas en el alma de la viga.

³⁹ *Ibidem*, p. 286.

⁴⁰ Las estructuras planas trianguladas (por tanto, geoméricamente indeformables, ya que un punto queda determinado por el triángulo que lo une a otros dos) fueron empleadas en el siglo XIX para cubrir luces medianas y grandes. Sus diagonales trabajan a compresión, y los montantes, a tracción. Normalmente, la altura oscila de 1/5 a 1/8 de su luz, y están diseñadas con nudos articulados y un apoyo deslizable; frente a las vigas de alma llena, presentan una buena relación peso/capacidad resistiva. Sobre vigas planas decimonónicas, véanse las figs. 0.5 y, en particular, 10.4.

ambiguo, como el comentario referido a las maderas apropiadas para las pilas de puentes fijos⁴¹:

el pino silvestre y verde, el roble verde es mejor, la aya, el álamo, el chopo, la carrasca o encina verde, el fresno, el azebuche o olivo silvestre, el vernio y todos los árboles que nacen cerca del agua, aunque dellos son buenos no naciendo en el agua, como roble, pino y otros.

Como es obvio, en lo dicho falta absolutamente un marco conceptual y procedimientos de cálculo que racionalicen el diseño y permitan obtener eficiencia técnico-económica. La rigurosa fundamentación del saber hacer en ciernes, particularmente cuando de gigantescas y atrevidas obras se trata, se puede visualizar así:

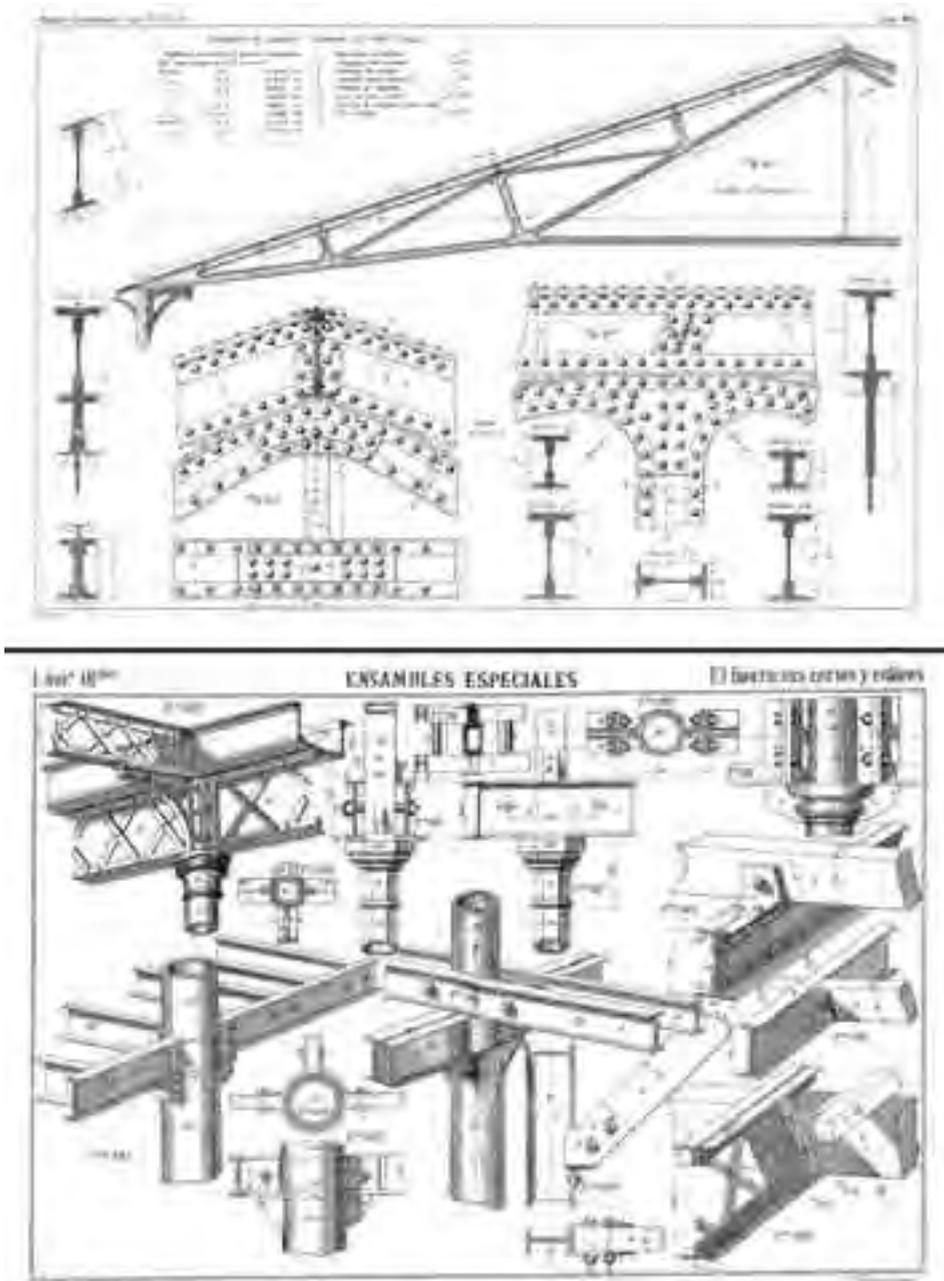
Las fórmulas generalmente empleadas para el cálculo de las resistencias no eran aplicables a una obra tan nueva [el puente Britannia, construido sobre el estrecho de Menai por Robert Stephenson en 1850] por su forma como por su magnitud; fue preciso por lo tanto recurrir a experimentos directos, y se ensayaron sucesivamente tubos circulares, elípticos y rectangulares, y después, cuando se adoptó definitivamente esta última sección, emprendiéronse nuevos ensayos para determinar el número y dimensiones de las planchas metálicas, que, hábilmente combinadas y ligadas entre sí, habían de constituir aquel gran puente⁴².

Claramente, el nuevo diseño exigió un razonado y amplio programa de investigación que condujo a la creación de nuevo conocimiento. Del Valle termina demostrando la satisfacción y el orgullo profesional por los avances en las ciencias de lo artificial, del ingeniero, al apuntar elementos del método seguido y su valoración:

Concepción original, experimentos numerosos y concienzudos, estudio minucioso de los proyectos, ejecución atrevida y que demuestra una inteligencia superior en los diferentes ramos de *la ciencia del ingeniero*, tal es la historia de los puentes de Menai y de

⁴¹ El ejemplar más conocido del grupo es *Los veintiún libros de los ingenios y máquinas de Juanelo Turriano* (mss. 3372-3376 de la Biblioteca Nacional de España, Madrid; existe reproducción facsímil, con transcripción y estudios previos de J. A. García-Diego, editada en Madrid por la Fundación Juanelo Turriano en 1996). Después fueron descubiertos el *Trattato dell'acque* (código Panciaticchi 200 de la Biblioteca Nacional Central de Florencia, que recibe un primer análisis en M. SILVA y M. S. MENJÓN: *Ingenios, máquinas y navegación en el Renacimiento*, Zaragoza, CAI —colección CAI-100, n.º 98—, 2001) y el manuscrito R. 5.794 de la Colección Torner (Barcelona). Escritas en castellano y todas anónimas, son las tres versiones hoy conocidas del más importante tratado de ingeniería hidráulica renacentista de Europa. El párrafo acotado pertenece al código florentino (f. 61r). Análisis paleográficos, lingüísticos, gráficos y diversas circunstancias históricas permiten atribuir este último, como notas de trabajo o apuntes, a Tiburcio Spannocchi (1541-1609), «ingeniero del rey» con Felipe II, al que Felipe III le llegó a nombrar «Ingeniero Mayor» en 1601. Tanto en el código florentino como en el barcelonés se observa el dibujo de Palladio referente al puente germano. En el ejemplar madrileño esa estructura se refuerza con nuevos elementos lineales que unen los brazos desde su punto medio con la intersección de los maderos del cordón inferior y las péndolas. En los tres se presentan otras soluciones estructurales lígneas no descritas por Palladio.

⁴² L. del VALLE, ob. cit., 1861, p. 21.



0.4. Detalles constructivos en estructuras férreas: 1) Cercha de la estación Oeste de París, de tipo Polonceau. El remache como elemento principal para fabricar las uniones (fuente: Nicolás VALDÉS: Manual del ingeniero y arquitecto, Madrid, Impr. de Gabriel de Aranda, 1870, 2.^a ed. ampl., lám. 48); 2) Ensamblajes especiales (fuente: Antonio ROVIRA Y RABASSA: El hierro, sus cortes y enlaces, Barcelona, Libr. de Ribó y Marín, 1900, lám. 18 bis).

San Lorenzo. El sistema de vigas tubulares y celulares en ellos adoptado es un bello descubrimiento; y, cualquiera que sea su porvenir, aun en el caso que deba ser abandonado por innovaciones más perfectas, su aplicación a las citadas obras permanecerá siempre como *una grande enseñanza*, y será otra de tantas pruebas del notable adelanto que en nuestros días ha llegado a alcanzar el empleo del hierro en las artes de construcción⁴³.

Pero la historia no es lineal y, hablando en un marco general, a pesar de «los estudios y experimentos hechos por varios ingenieros y constructores», los fracasos habidos con elementos de fundición, material que «no resiste a los choques y, en lugar de ceder paulatinamente, falta de repente»⁴⁴, tornaron su uso peligroso. El empleo del hierro laminado, usado en el puente Britannia, y sobre todo del acero, devolvió seguridad a las construcciones.

Si el empirismo fue la nota dominante en el diseño de estructuras líneas durante siglos, las necesidades edificatorias del Ochocientos, cuando la construcción de puentes ferroviarios fue un catalizador esencial, potenciaron el desarrollo de métodos de cálculo. En este sentido, sorprende que la solución de las vigas estáticamente determinadas (como algunas de las descritas por Palladio)⁴⁵, problema estructural sencillo para cuya solución se disponía de los elementos básicos desde el tardo-Renacimiento, no se hubiera abordado rigurosamente. No obstante, el atrevimiento estructural y dimensional de las nuevas construcciones ochocentistas y el interés en reducir el coste del material (hierro laminado o acero) y de montaje impulsaron la creatividad científica.

Las vigas de alma llena (o palastro) plantean problemas para salvar grandes luces, tanto por cuestiones de resistencia como por las deformaciones por flexión que se inducen. Para resolverlos, una primera idea es aumentar la sección transversal⁴⁶, pero los costes aumentan al tiempo que el peso propio incrementa la carga y, por tanto, con-

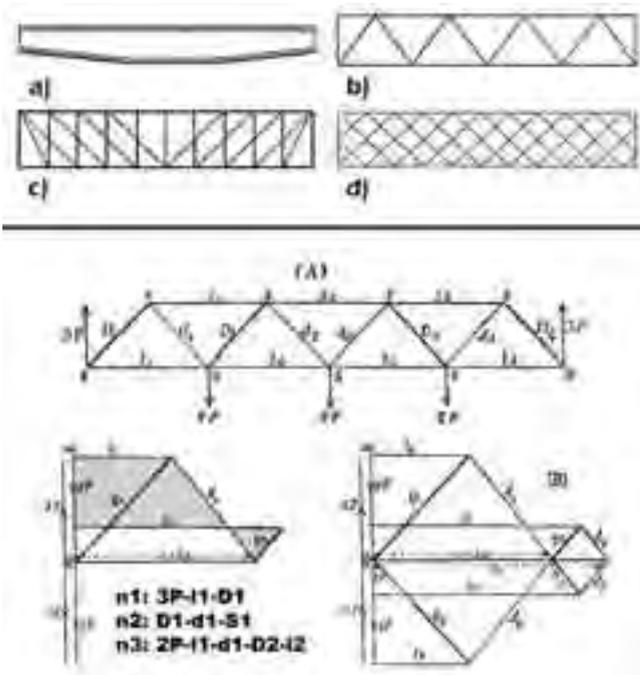
⁴³ *Ibíd.*, p. 22. La cursiva es nuestra.

⁴⁴ *Ibíd.*, p. 48. Las acotaciones corresponden al citado discurso de contestación de Cipriano Segundo Montesino.

⁴⁵ Una estructura en equilibrio estable (i. e., en el que las posiciones relativas de los subsistemas no varían con el tiempo) puede ser *isoestática* o *hiperestática*. En el primer caso, estáticamente determinada, la solución (fuerzas y momentos) se puede calcular asumiendo que no se deforma, empleando ecuaciones de la mecánica del sólido rígido; en el segundo, las ecuaciones de la estática resultan insuficientes (estructura estáticamente indeterminada) y el equilibrio se puede alcanzar con múltiples combinaciones de esfuerzos. Su resolución exige la toma en consideración de las deformaciones de los materiales y las tensiones internas asociadas, empleando los métodos de la mecánica de sólidos deformables, por ejemplo los teoremas de Castigliano o Mohr, o el principio de los trabajos virtuales.

La nulidad de sumatorios de fuerzas y de momentos con respecto a un punto exigidos por el equilibrio estable da lugar a una única solución en el caso de las estructuras isoestáticas, y puede calcularse por medios matriciales. No obstante, en ausencia de computadores, en el siglo XIX se desarrollaron métodos geométricos o analíticos particulares (i. e., no válidos para cualquier estructura) de gran eficacia computacional. Entre estos, los de Cremona y Ritter, respectivamente.

⁴⁶ Incrementando en particular su inercia, y de ahí el interés de las vigas en doble T, por ejemplo.



0.5. Vigas maestras y cálculo mediante el método Cremona:

En la parte superior se representan vigas de alma llena o de palastro (a) y caladas; entre estas últimas, de grandes mallas –triangulada simple, tipo Warren (b) y triangulada múltiple (c)– y en forma de celosía (d) (fuente: Nicolás TOUS Y CAZE: Puentes metálicos, Barcelona, Impr. Elzeviriana de Borrás y Mestres, 1909, fig. 22). En la parte inferior se aplica el método Cremona a una viga Warren con barras y nudos denotados en (A), que soporta

cargas $2P$ en los nudos 3, 5 y 7. El diagrama de Cremona se ilustra en (B), mientras que a su izquierda hemos aislado el comienzo de su construcción (se ha marcado en gris el doble polígono correspondiente al nudo 3: $2P-l_1-d_1-D_2-l_2$) (fuente: Luis GAZTELU: Cálculos de estabilidad de los puentes: exposición elemental, Madrid, Establ. Tip. de Fortanet, 1896, fig. 42).

trarresta la esperada reducción de la deformación. Como informalmente describe Palladio, para obtener económicamente inercias resistentes importantes se pueden emplear vigas en celosía o vigas de grandes mallas (trianguladas, en particular)⁴⁷.

La figura 0.5 y los comentarios que siguen solo pretenden evidenciar el cambio de mentalidad y procedimiento operados con respecto al modo cualitativo-intuitivo de razonar expuesto por Palladio. De ninguna de las maneras se intenta aquí abocetar siquiera conceptos subyacentes y métodos de cálculo de estructuras ochocentistas⁴⁸.

⁴⁷ La diferencia entre las vigas en celosía (enrejado relativamente tupido con barras inclinadas en dos direcciones simétricas con respecto a la vertical) y las trianguladas no necesita en general de mayores explicaciones (fig. 0.5d frente a 0.5b y 0.5c). No obstante, en algún caso la distinción no es clara, lo que en la práctica ha instaurado un cierto abuso del lenguaje que, por su carácter ilustrativo del *habla en medios profesionales*, es visible en este volumen (cap. 9): denominar a veces *celosías* a estructuras trianguladas.

⁴⁸ Sobre la mecánica de medios continuos y la teoría de estructuras, así como sobre la construcción de estructuras con materiales metálicos, véanse los capítulos 8 y 9 de este mismo volumen; además, en el 10 se presentan diversas estructuras metálicas empleadas en puentes españoles.

Permítasenos, sin embargo, apostillar que nuevos materiales y técnicas de cálculo ofrecieron grados de libertad a los diseñadores para crear formas que no pertenecían a los repertorios clásicos, que rompían sus proporciones; en suma, que posibilitaron la emergencia de nuevos valores estéticos en una sociedad que necesitaba de nuevos signos de identidad.

El cálculo simplificado de vigas planas triangulares isoestáticas asume principios sancionados por la experiencia como, por ejemplo, que los ejes de los perfiles que constituyen la estructura se sitúen en su plano medio, y si forman un nudo coincidan en un único punto; o que las cargas estén contenidas en el plano de la viga y ubicadas en los nudos (si no, hay que sustituir las cargas por sus reacciones en estos); o se acepta que los nudos se comportan como si fuesen articulados y sin rozamientos, despreciando además las deformaciones debidas a la elasticidad de las barras. De este modo, los elementos que constituyen la estructura solo están sometidos a tracción o compresión axial⁴⁹.

Representativos de los procedimientos de cálculo decimonónicos más simples para estructuras isoestáticas (sin redundancias estructurales) son el numérico «método de las secciones» de August Ritter y el gráfico sintético basado en el «método de los nudos» debido a Luigi Cremona, ambos en la línea de los trabajos de Carl Cullman⁵⁰. Ninguno de los dos se puede aplicar a todas las estructuras isoestáticas (en las que los esfuerzos se determinan sin considerar las deformaciones), pero son muy eficientes en multitud de casos prácticos⁵¹. Si una estructura se encuentra en equilibrio, el sumatorio de fuerzas externas e internas habrá de ser nulo en cada nudo, de donde se obtendrán otros tantos «polígonos cerrados de fuerzas». En el caso particular de un nudo en el que concurren varias fuerzas y se desconozcan solo dos en posiciones consecutivas, se puede construir gráficamente un polígono mediante el cual se determine el valor de las desconocidas. Partiendo de la representación gráfica de los vectores fuerza a escala, el *diagrama de Cremona* es la integración en un *único* dibujo de los polígonos de fuerzas de todos los nudos. En esencia, el método consiste en dibujarlos sucesivamente, pero combinados de tal forma que: 1) por ser común a dos nudos, cada esfuerzo actuante en una barra se represente una única vez, y 2) los nudos se elijan en secuencia de tal manera que en cada uno existan únicamente dos barras con fuerzas de módulo desconocido

⁴⁹ Como los nudos se proyectan enlazando rígidamente las barras que a ellos concurren, se provocan flexiones, de las que derivan tensiones *secundarias*, que se han de superponer a las procedentes de los esfuerzos axiales, tensiones *primarias*. En la mayoría de los casos las tensiones secundarias son de escasa importancia.

⁵⁰ Una visión de conjunto sobre el tema puede consultarse en T. M. CHARLTON: *A history of theory of structures in the nineteenth century*, Cambridge, Cambridge University Press, 1982, esp. cap. 4. (Una versión traducida al inglés de trabajos de Luigi CREMONA: *Graphical statics: two treatises on the graphical calculus and reciprocal figures in graphical statics*, Oxford, Clarendon Press, 1890).

⁵¹ Son métodos que ayudan a desarrollar la intuición del ingeniero calculista, diríamos a «sentir la estructura». Lamentablemente, a pesar de su sencillez, hoy en día no se suelen explicar, ante la potencia de los métodos numéricos generales y de los computadores disponibles.



0.6. Puente de hierro o de Sagasta (Logroño, 1881), construido por La Maquinista Terrestre y Marítima: Sustentado básicamente en vigas con cruces de San Andrés y montantes, estas separan la calzada de las aceras (el tablero va en posición intermedia). Diseñado por el ingeniero de caminos Fermín Manso de Zúñiga en 1881, con 330 metros de longitud es el puente más largo construido por La MTM en el siglo XIX. Inaugurado en 1882, consta de once vanos de 30 metros de luz cada uno y se apoya sobre pilas formadas por columnas gemelas tubulares de palastro rellenas de hormigón hidráulico de 12,60 metros de altura. Es una construcción realizada con angulares y platabandas roblonadas de hierro forjado. (Fot.: MSS).

(sus direcciones están determinadas por las de las propias barras). Si la fuerza *se aleja* del nudo, la barra trabajará a tracción; si *se acerca*, trabajará a compresión (véase un ejemplo de aplicación en la parte inferior de la fig. 0.5). En ocasiones es imposible resolver estructuras estáticas utilizando exclusivamente el método de Cremona (por ejemplo, la cercha Polonceau; véase la fig. 9.3).

El *método de las secciones* de August Ritter es analítico⁵². Asumiendo igualmente que la estructura se encuentra en equilibrio, en esencia consiste en cortar la viga o cer-

⁵² Publicado en 1862 en un libro sobre la teoría y el cálculo de puentes y cerchas de hierro, el traductor al inglés, el capitán Sankey, observó que el mismo había sido propugnado por W. J. M. Rankine en 1858; en otros casos también se le atribuye a J. W. Schwedler (T. M. CHARLTON, ob. cit., p. 8).

cha a lo largo de una línea imaginaria de modo que en la sección se desconozcan las fuerzas en tres barras que concurren dos a dos (por tanto, en dos nudos). Sustituyendo las barras cortadas por los esfuerzos internos que realizan, se aplican a la subestructura aislada las condiciones de equilibrio: tres ecuaciones de momentos (una de estas puede sustituirse por una proyección de fuerzas). En particular, dos de los momentos se han de tomar con respecto a los dos nudos en que se cortan dos de las tres fuerzas desconocidas, por lo que se obtienen ecuaciones con una sola incógnita. Especialmente útil para calcular la fuerza en una barra particular de una gran estructura, o realizar una comprobación aleatoria tras emplear el método de Cremona, es un método muy apreciado para el cálculo manual de estructuras, pero que no puede utilizarse si la línea de corte interfiere con más de tres barras con cargas desconocidas⁵³.

En la práctica, los métodos de Cremona y Ritter pueden ser empleados de forma complementaria para resolver una estructura particular; por ejemplo, la mencionada cercha Polonceau. Finalmente, conocidos los esfuerzos en las barras y definido el material de estas, el diseño básico terminaba calculando las secciones necesarias merced a la tensión (de tracción y de compresión) a la que se deseaba hacerlas trabajar.

El desarrollo de métodos más elaborados y generales de cálculo de estructuras tiene lugar a lo largo de la segunda mitad del Ochocientos, especialmente en su último tercio. Sin embargo, como es casi una constante en la historia de la ingeniería, el saber hacer, con información y conocimientos parciales, precedió a menudo al saber científico, que en fases posteriores permitirá con frecuencia refinar métodos de análisis y de síntesis.

De acuerdo con lo expuesto a lo largo de esta sección, si el interés conceptual de los principios de la termodinámica es de primera magnitud en el más amplio espacio del conocimiento científico, su aportación al diseño de las máquinas de vapor fue marginal. Esta constatación es extendida por Hugo Güldner a las décadas de nacimiento y primeros perfeccionamientos de los motores de combustión interna, pues incluso el *coeficiente económico* o *rendimiento teórico* del ciclo de todos estos ingenios se situaba muy lejos del *rendimiento industrial* (gasto energético de combustible por hora, por caballo de vapor producido). Claramente, la máquina precedió a la teoría. Si de nuevo nos preguntamos ¿qué fue primero: el huevo o la gallina?, la respuesta también es inequívocamente clara en el ámbito de las estructuras reticuladas, pues las referencias históricas a construcciones en la literatura impresa en el Renacimiento, el Barroco y la Ilustración son múltiples, e incluso se pueden argumentar precedentes muy anteriores, al menos desde la Antigüedad clásica. Si, simplificando en extremo la argumentación, consideramos como referente a Carl

⁵³ Por ejemplo, sabemos que el método de August Ritter, también conocido como *el de los momentos estáticos*, fue el empleado para calcular la estructura del primer proyecto del puente del Pilar en Zaragoza, basado en vigas Warren (J. L. CEREZO LASTRADA: «El viejo puente metálico», en *Los puentes de Zaragoza*, vol. 4: *Nuestra Señora del Pilar*, Zaragoza, CICCIP de Aragón, 1995, s. p.).

Cullman, indiscutiblemente uno de los pioneros en el cálculo de estructuras, ha de recordarse que su definitiva implicación en el desarrollo de los cimientos de la *estática gráfica* se remontan a su viaje de 1850-1851 a los Estados Unidos, donde observó fantásticos puentes ferroviarios capaces de cubrir luces impresionantes con cargas dinámicas enormes como eran las de los trenes cargados y en movimiento⁵⁴. Dicho de otro modo, se construyeron espectaculares estructuras antes que teorías para su comprensión y diseño. Como afirma Javier Manterola en este volumen (cap. 9, p. 419):

Diseñar y construir sin saber lo suficiente ha sido una constante a lo largo de toda la historia. Nunca la construcción ha esperado a que los problemas teóricos que los mismos constructores planteaban estuviesen resueltos. La teoría va avanzando a trancas y barrancas detrás de las obras ya construidas con conocimientos imprecisos, inexactos y que llenaban de dudas a los constructores, dudas que, sin embargo, nunca detuvieron el proceso de diseño y construcción.

No obstante, los desarrollos teóricos de mecánica aplicada tuvieron, en el dominio que los motivó, bastante mayor impacto que los termodinámicos para la máquina de vapor. En cualquier caso, cerrando esta sección, conviene apuntar tres observaciones. Por un lado, es inexacto decir que los artefactos derivan de la aplicación de teorías científicas. Concebida —en un acto más o menos afortunado o elaborado de creación (desde la idea feliz repentina al laborioso madurar de una posibilidad)— una estructura, una máquina o un proceso, entre otros ingredientes, diversas teorías científicas pueden permitir la comprobación de su eficacia, incluso ayudar eficientemente a su dimensionamiento. Las restricciones impuestas por los materiales o subsistemas conocidos y disponibles, y las económicas y temporales, el todo *esencialmente condicionado* por el concepto básico imaginado para el funcionamiento del artefacto, guían el diseño de ingeniería. Por otro lado, entre los ingredientes antes aludidos y no explicitados está el conjunto de conocimientos técnicos desarrollados en la empresa o el gabinete de diseño y que no forman parte de teorías científicas, pero que con frecuencia otorgan esa ventaja decisiva que permite que el artefacto sea competitivo en el marco socioeconómico dado (condicionado por la cantidad y la calidad de los ingenios demandados o demandables por el mercado, la longitud de las series de producción, la calidad y la proximidad de los proveedores, la política de aranceles, etc.). Finalmente, si las teorías científicas ayudan a analizar y dimensionar las concepciones habidas, e incluso a ordenarlas por su relativo interés, no se puede olvidar que un enorme porcentaje de ellas surgieron y surgen desde la ingeniería. Los dos

⁵⁴ M. RINKE y T. KOTNIK: «The changing concept of truss design caused by the influence of science», en P. J. da Sousa Cruz (ed.), *Structures and architecture*, Londres, Taylor & Francis, 2010, pp. 1959-1967. Con carácter previo al de Cullman, ha de anotarse el trabajo del ingeniero americano Squire Whipple, que en 1847 publicó el primer método racional para determinar las fuerzas en ciertas estructuras.

casos analizados, con la termodinámica y la estática gráfica como ejemplos puntuales, lo muestran bien a las claras.

II

LA FÁBRICA: PROCESOS PRODUCTIVOS, INSTALACIONES Y EDIFICIOS

La fábrica es un mundo *per se*. Permeable en múltiples sentidos, se comunica con el exterior a través de las personas y su trabajo, de las materias primas y de los productos, de la energía y de la información⁵⁵. Con frecuencia inserta en el universo que va a definir o define la nueva ciudad burguesa, en cualquier caso espacio en transformación, será un elemento determinante a la hora de constituir un nuevo paisaje. En este *paisaje industrial*⁵⁶, más precisamente *paisaje fabril*, reverbera la historia social, económica y técnica de un período en el que, aunque con retrasos, velocidades e intensidades diferentes, se produce en paralelo un sustancial cambio político: la desaparición de los marcos de referencia de las sociedades del Antiguo Régimen.

La nueva organización de la producción y la distribución de bienes acompasa estrictamente el devenir, algo que la ciudad percibe al ritmo de las sirenas fabriles, complemento industrial del más espiritual tañer de las campanas, instrumentos que

⁵⁵ En un nuevo contexto, la presente sección recupera algún elemento de lo argumentado en la presentación del volumen IV de esta misma colección, M. SILVA SUÁREZ: «El Ochocientos: de la involución postilustrada y la reconstrucción burguesa», ob. cit., 2007, pp. 9-104, esp. pp. 17-24. Por otro lado, queremos reconocer nuestra deuda con Julián SOBRINO, autor de *Arquitectura industrial en España, 1830-1990* (Madrid, Cátedra, 1996), e Inmaculada AGUILAR CIVERA, autora de *Arquitectura industrial: concepto, método y fuentes* (Valencia, Museu d'Etnologia, 1998). A ambos, nuestro agradecimiento.

⁵⁶ Por su polisemia, no es fácil acercarse al concepto de *paisaje*, que «no es simplemente un objeto sino un producto del espíritu humano, vertido, eso sí, sobre una realidad natural o antrópica concreta» (M. Nieto); en otros términos, «una percepción humana del medio físico, unida a la huella que deja el hombre en el territorio... Y tiempo» (C. Dávila). Paisaje industrial es el cultural (resultado de llevar a cabo actividades humanas en un territorio concreto) en el que se desarrollan quehaceres de extracción, transformación o transporte de productos. Puede manifestarse en paisajes naturales, agrícolas e incluso urbanos. Por su rápida obsolescencia relativa, sujeto a continuas renovaciones que lo adaptan a los cambios técnicos, económicos y sociales, es una forma particularmente compleja de ocupación del territorio, a la vez que singularmente frágil. Algunos de estos conceptos se refieren en M. SILVA SUÁREZ: «Técnica, ingeniería, cultura y paisaje: Las Médulas, una realidad poliédrica», en VV. AA.: *Las Médulas*, Madrid, Real Academia de Ingeniería, 2009, pp. 17-75. (En el ámbito minero y en tiempos de la Roma imperial, decididamente en su sentido más amplio, el de Las Médulas de Carucedo puede considerarse una suerte de paisaje paleoindustrial. Las sobrecogedoramente bellas imágenes que se observan en esa zona del Bierzo Bajo derivan en gran parte de la erosión natural —unos dieciocho siglos— del territorio devastado que dejaron los romanos, y que se ha preservado merced a la ausencia posterior de actividad antrópica significativa).

por antonomasia evocan la dimensión religiosa⁵⁷. Campanas y sirenas, en cierto modo, el ayer y el hoy, según Antonio Flores⁵⁸. En cualquier caso, es un presente en el que el concepto y la medida tradicional del tiempo cambian, se aceleran, como la productividad y la movilidad. Indisolublemente ligado a la centuria, el gas del alumbrado apoyará el desvanecimiento de la natural frontera entre la luz y la oscuridad. Surge el «día artificial», algo que alcanza desde la esfera íntima de la vivienda a la pública de la ciudad, pasando por instalaciones productivas e infraestructuras. Sensible a esta innovación, el poeta Antonio Fernández Grillo versifica destacando «¡los torrentes ocultos / del gas que corre y que en la noche umbría / sustituye la luz del muerto día!»⁵⁹. Si el fin de siglo casi agota la predominancia de la máquina de vapor como motor universal, que se ve sustituido por los de gas y eléctrico, con paso firme e irreversible, el alumbrado con gas comenzará a ser sustituido por el eléctrico.

La iluminación fabril difumina la dicotomía día/noche, al tiempo que las máquinas pueden operar sin interrupción las veinticuatro horas. Ello acarrea evidentes consecuencias laborales; se puede subrayar que, a diferencia del artesano que se servía de herramientas más o menos sofisticadas, el obrero estará con frecuencia al servicio de la máquina. Expresivamente dicho, «la acción repetitiva y mecánica reemplaza la acción heroica del hombre»⁶⁰. Paradójicamente, la sustitución del trabajo humano por la máquina no supondrá necesariamente una mejora de las condiciones de los operarios en el marco laboral imperante. Esta dependencia del individuo respecto a la máquina impondrá nuevas relaciones de producción insospechadamente

⁵⁷ En sentido figurado, *campana* significa 'iglesia o parroquia'; incluso, y por extensión, aunque se trata de una acepción en desuso, *campana* es el «territorio de una iglesia o parroquia» (DRAE, ed. de 1998).

⁵⁸ Antonio FLORES, ob. cit., 1863-1864.

⁵⁹ Después afirmará: «y crece todo y todo se agiganta / del siglo en la fantástica carrera», en «Mi siglo. Canto», publicado por primera vez en *La Ilustración Española y Americana* (XL, 24 de octubre de 1872, pp. 638-639).

⁶⁰ G. Bowker (1991), al hablar de los orígenes del uniformismo (cit. en I. AGUILAR CIVERA, ob. cit., p. 106). Con anterioridad, aunque sobre un período más tardío (con la producción en cadena y la Gran Depresión como telón de fondo), lo mencionado lo ilustra magistralmente Charles Chaplin en *Tiempos modernos* (1936). Pero esto no es exclusivo de ese apenas remoto pasado a que nos referimos. Por ejemplo, en la década de 1970, en el ámbito de la programación de computadores se produce un importante aumento relativo del coste del *software* frente al del *hardware*. Ello conduce a la concepción de la programación como actividad mecanizable, y, por lo tanto, a buscar el máximo de productividad (*programming factory*). En este sentido, y bajo una perspectiva laboral, «lo que es más relevante acerca del trabajo de los programadores es lo rápidamente que ha sido transformado. Escasamente una generación después de su aparición, la programación ha dejado de ser el complejo trabajo de personas creativas y quizás hasta excéntricas. Hoy día, dividido y mecanizado, se ha convertido en un trabajo de producción de masas, parcelado...» (Philip KRAFT: *Programmers and managers: the routinization of computer programming in the United States*, Nueva York, Springer, 1977, p. 97).

duras⁶¹. Productividad y pérdida de libertad del operario sobre la orientación y el ritmo de trabajo serán dos caras de un mismo proceso, en el que las tareas se parcelan, se simplifican y se tornan repetitivas, poco o nada creativas. La concentración de medios y su control supondrán un hacer ordenado, con frecuencia despersonalizado, casi disciplinario, donde tanto el tiempo como el espacio están sometidos a regulación en aras de la eficacia.

II.1. *Breve excursus previo, con base lexicográfica y organizativa*

¿Qué entendemos por *fábrica*? Sin pretender extendernos al respecto, conviene un brevísimo *excursus* que ayude a comprender lo que a nuestros ojos se presenta a veces de forma sesgada; por ejemplo, si hoy se lee al pie de la letra lo dicho por M. QUATEMÈRE DE QUIRCY (1832) cuando afirma que «una fábrica es un edificio cuya primera condición es la utilidad. De aquí su simplicidad y ausencia de lujo y decoración»⁶². El edificio (la parte) por la fábrica (el todo) es sinécdoque que, desafortunadamente, se sigue percibiendo en ciertos planteamientos.

Remontándonos a Sebastián de Covarrubias (1539-1613), en su *Tesoro de la lengua castellana o española* (1611) nos dice de *fábrica*:

En una significación se toma por cualquier edificio sumptuoso, en quanto se fabrica, y por quanto es necesario irse reparando, porque el tiempo, que todo lo consume, va gastando los edificios. Llamaron fábrica la renta que tienen las iglesias y templos para sus reparos. Díxose fábrica a *fabro*, nombre genérico que comprehende todo artífice que labra, golpeando en cosa dura, como hierro, piedra o madera y pueden entrar en esa cuenta los plateros y los que labran los metales.

Digamos que cubre la actividad de producción y el producto resultante, haciendo hincapié en un tipo de construcción por excelencia, la edificatoria, y con rasgo de suntuosidad. Saltando algo más de un siglo, el *Diccionario de autoridades* (1732) define el término de este modo:

1. La acción de fabricar, y así se dice, la fábrica del carbón, la fábrica del vidrio, &c. Es voz puramente latina.
2. Se toma regularmente por cualquier edificio suntuoso. Lat. *Aedificium*.
3. El parage destinado para hacer siempre alguna cosa: como la fábrica de tabaco, la fábrica [...].

Fabricar no es verbo definido por Covarrubias, pero sí por la Real Academia Española desde su ópera prima: «Hacer o disponer un edificio, u otra cualquiera obra de

⁶¹ Más allá de la mecanización, la automatización será, para muy diferentes tipos de procesos, el bálsamo que nos libere, aunque sea parcialmente, de acciones repetitivas y mecánicas. A pesar de los avances en el XIX (variados conceptos de reguladores, los centrífugos en particular; servomecanismos para el pilotaje de buques, etc.), la automatización es propiamente un rasgo de la técnica del siglo XX.

⁶² *Dictionnaire historique d'architecture, comprenant dans son plan les notions historiques, descriptives, archéologiques, biographiques, théoriques, didactiques et pratiques de cet art*, París, Adrien Le Clère et C.^{ie}, 1832.

manos». Es decir, construcción en sentido genérico, trabajo del artesano. Síntoma de esta generalidad es la «autoridad» elegida⁶³: «BAREN. Guerr. de Fland., pl. 46. Y tal se veía la preparación de baxeles que se *fabricaban* en Vizcaya». Este matiz no surge en el siglo XVIII, y en el mismo 1611, año de la publicación de la joya lexicográfica que es el Covarrubias, ve la luz el impreso de Tomé CANO *Arte para fabricar, fortificar y aparejar naos* (Sevilla, 1611). De gran interés lexicográfico en el dominio técnico específico, contiene un considerable vocabulario titulado «Declaración de los vocablos de esta fábrica». Del mismo modo, el *Diccionario de autoridades* (1732), al definir *fabril*, asume la sinonimia entre arte mecánico y fabril: «Lo perteneciente al oficial de manos. Es voz antigua [...]. PALOM. Mus. Pict. Lib. 2 cap. 1 § 3. El arte mecánico o fabril es aquel donde las operaciones corporales superan a los actos especulativos». Sin embargo, en el magno *Diccionario Castellano con las Voces de Ciencias y Artes* (1793), el jesuita Esteban Terreros y Pando (1707-82) circunscribe el verbo *fabricar* a «levantar algún edificio [...], edificar»⁶⁴.

En el *DRAE* de 1832 (7.^a ed.), una centuria después del *Diccionario de autoridades*, aparece una formulación que perdurará, y *fábrica* es ya «La acción y efecto de fabricar. || Edificio. || El lugar destinado para fabricar alguna cosa». Obsérvese que el edificio ya no ha de ser percibido como suntuoso. Anteriormente (*DRAE*, 3.^a ed., 1791), *fabricar* era «construir un edificio o hacer cualquiera otro artefacto». Y, para terminar, tomando la 14.^a edición (1914) como representativa de evoluciones fraguadas a lo largo del Ochocientos, lo más significativo es que la acepción ‘edificio’ (en general) ya es relegada a tercer lugar.

En nuestro ámbito, una fábrica no es un edificio, una construcción arquitectónica, sino un establecimiento (lugar donde se ejerce una industria) en el que se concentran las instalaciones, la maquinaria y el herramental necesarios para llevar a cabo eficientemente actividades de producción de bienes. Vaciados sus edificios de los recursos técnicos, ya no es fábrica, sino como un cuerpo sin alma. Basada en determinados procesos productivos, hijos de los saberes técnicos y de las decisiones sobre la organización de la producción, en la fábrica tienen lugar múltiples relaciones sociales. Al tiempo, arquitectónicamente se pueden observar nuevas propuestas morfológicas, de donde emergen nuevos valores estéticos. Como afirma Pedro Navascués:

No es difícil adivinar que [el] mundo industrial produjo una arquitectura que tipológicamente apenas si tiene antecedentes, de tal manera que desde los altos hornos hasta las estaciones de ferrocarril, desde los depósitos y almacenes hasta el complejo mundo de la fábrica, la historia de la arquitectura vio crecer, al lado de la religiosa, civil y militar, la nueva planta de la arquitectura industrial. Arquitectura e ingeniería, ingenieros y arquitectos, madera, piedra y ladrillo, pero también hierro, acero y hormigón, fueron depositando en la arena de la historia edificios de rasgos [sic], donde

⁶³ En *fabricado*, participio pasivo, sintomáticamente, la autoridad vuelve a aludir a la arquitectura naval: «RIBAD. Fl. Sanct. Vid. de S. Chrysógono. Algunas naves de esas son tan fuertes, y tan bien fabricadas, que rompen las ondas».

⁶⁴ En segunda acepción: «Se toma también en la moral por levantar alguna calumnia, un embuste, &c.».

las ideas de proporción, orden y estilo eran generalmente ajenas al funcional utilitarismo que demandaban.

Como en otros momentos ha sucedido, la repulsa de unos determinados valores tradicionales y el deseo de hacer de la función el elemento determinante del proyecto, la arquitectura industrial llegó a tener su propia imagen, a base de negar las demás: esbeltas chimeneas, amplias naves de aserrado perfil, vítreos y luminosos cerramientos, estructuras roblonadas, asimetría, en fin, todo un nuevo orden, de desiguales volúmenes cuya jerarquía, textura y color forman, paradójicamente, un todo de heterogénea semejanza. De allí surge el secreto de su atractivo y su belleza⁶⁵.

Si el edificio es el contenedor, la caja donde se desarrolla el proceso productivo, donde se ubican las instalaciones necesarias (o, simplemente, las posibles), es cierto que en ocasiones tiene rasgos tan especiales que se puede percibir como parte de la maquinaria en sí.

Considerada la relación y la diferencia entre *fábrica* y *edificio*, merece la pena apuntar que, además, en el siglo xvi se entendía por *máquina* «fábrica grande e ingeniosa» (Covarrubias, 1611), y a las fortalezas (las ciudadelas, por ejemplo) se les llegó a denominar «máquinas de guerra», o simplemente «máquinas», como hacía, por ejemplo, al referirse a la ciudadela de Jaca, Hernando de Acosta, su primer gobernador. En el mismo sentido, el *Diccionario de autoridades* (1732) afirma que así «se llama también el edificio grande y sumptuoso», lo que lleva a designar como «gran máquina» a El Escorial. En suma, en esta acepción se establece una cierta sinonimia entre *fábrica* y *máquina*⁶⁶. Además, según el *Diccionario de autoridades* (1732), *ingenio* se define como «las mismas máquinas e instrumentos artificiosos inventados por los Ingenieros», lo que también se recoge en castellano como sistema integral de producción (por ejemplo, ingenio azucarero); en cierto modo, de la máquina a la *megamáquina*. Justamente, el funcionamiento de sistemas sociotécnicos complejos suele requerir también la presencia de ingenieros, que llegan a convertirse con frecuencia en gestores, organizadores. De este modo han surgido especialidades como la de ingeniero en Organización Industrial⁶⁷.

Con frecuencia, a lo largo del Ochocientos un motor único (rueda o turbina hidráulica, o máquina de vapor) mueve *centralizadamente* las máquinas de las fábricas transmitiendo movimiento con encumbrantes y hoy espectaculares sistemas de ejes y correas. De este modo, con el sistema de fábricas se produce una triple concen-

⁶⁵ En el prólogo de I. AGUILAR CIVERA, ob. cit., 1998, p. 18.

⁶⁶ Cambiando de registro lexicográfico, y en sentido metafórico o figurado, en definición de gran modernidad que la hace sinónimo del concepto actual de sistema, *máquina* es «agregado de diversas partes ordenadas entre sí, y dirigidas a la formación de un todo» (*Diccionario enciclopédico de la lengua española, con todas las voces, frases, refranes y locuciones usadas en España y las Américas españolas [...]*, t. II, Madrid, Impr. y Libr. de Gaspar y Roig, 1853-1855; también, Elías ZEROLO: *Diccionario enciclopédico de la lengua castellana*, París, Garnier Hermanos, 1895).

⁶⁷ A propósito de las relaciones entre máquina e ingenio (también entre arte y técnica, entre otras), véase M. SILVA SUÁREZ: «Sobre técnica e ingeniería: en torno a un *excursus* lexicográfico», ob. cit., 2004 (2.ª ed. ampl., 2008, pp. 23-62).

tración: *social* (que permite al capital un mejor control del trabajo), *energética* y *de maquinaria*. Ello necesita de capital intensivo y genera un nuevo orden social en el que se extiende el trabajo asalariado: la traumática transición del artesano agremiado y del campesino al obrero de fábrica. Lo dicho lleva a formas diversas de resistencia obrera ante los abusos del capital⁶⁸. El análisis de la transición del trabajo agremiado al sistema fabril muestra el complejo juego de equilibrios sociales que se produce a lo largo del siglo, en el que prevalece la «sorda guerra entre el capital y el trabajo», que con frecuencia ha de reaccionar ante «las embestidas» del primero, pero en ocasiones ha de coaligarse en defensa de la producción nacional, es decir, apoyar las reivindicaciones proteccionistas de la patronal.

La difusión del sistema de fábrica transformará, mayoritariamente, a los artesanos y los campesinos en obreros. Es algo que se puede observar en una infinidad de representaciones, en la multitud de textos y pinturas al respecto, por ejemplo. La imagen sórdida es preponderante, algo menos quizás al final del período, con el cambio de siglo. Tomando la pintura como indicador, que al igual que la literatura está normalmente cargada de intencionalidades, la actividad en la fábrica se muestra a veces como apacibles construcciones simbólicas; mucho más frecuentemente, en el marco de dinámicas y contundentes denuncias sociales de las condiciones a las que se ven relegadas a vivir infinidad de familias obreras, incluso los niños. Entre los óleos que representan la primera línea se cuenta *La fábrica* (1889), de Santiago Rusiñol, donde, sin concesión alguna al alegre casticismo costumbrista ni a los tipos desventurados del naturalismo, se transmite un sereno estado de ánimo merced a la repetición de motivos y la quietud en una luminosa y espaciosa escena; en la segunda línea, de colores oscuros y sin concesiones pintoresquistas, impacta el dramatismo de *Epílogo* (1895), de Vicente Cutanda⁶⁹. Dentro del mismo sector textil, a modo de contrapunto a la visión de Rusiñol, que refleja una fábrica de hilados familiar (sita en Manlleu, municipio de la provincia de Barcelona atravesado por el Ter y dotado de un canal industrial de unos 2 kilómetros), en la *Tejedora* (1882), pintura realista de Joaquín Planella se denuncia la explotación infantil (una niña trabaja en un telar de tipo garrote) en un mezquino ambiente.

Como se ha avanzado, una variable de enorme relevancia en el marco de la industrialización es la organización de la producción. Según Arnold PACEY, si

la opinión tradicional de los historiadores ha sido la de que la nueva tecnología hizo nacer el sistema fabril [...], parece crecientemente plausible considerar la aparición del sistema fabril, no principalmente como una revolución tecnológica, sino como un cambio en el control social de la producción⁷⁰.

⁶⁸ A. CALVO: «Del gremio a la industrialización», cap. 6 del volumen IV de esta misma colección.

⁶⁹ Figuras 9.16 y 9.11, respectivamente, en M. SILVA SUÁREZ y J. P. LORENTE LORENTE: «Técnica e ingeniería en la pintura española ochocentista: de la modernidad, presencias y ausencias», en el vol. IV de esta misma colección: *El Ochocientos: pensamiento, profesiones y sociedad*, 2008, pp. 515-588, esp. pp. 541 y 535.

⁷⁰ *El laberinto del ingenio: ideas e idealismo en el desarrollo de la tecnología*, Barcelona, Gustavo Gili, 1974, p. 233.

En este sentido, se puede ver la fábrica decimonónica como evolución de la manufactura dieciochesca, sistema de producción concentrada. Presente esta última en la España de la Ilustración, sobre todo por iniciativa de la Corona, es tema abordado en el volumen III de esta misma serie. A lo largo del Ochocientos, los métodos de control del trabajo evolucionan, y técnicas para su *división científica* como el taylorismo toman forma con el cambio de centuria⁷¹. Ello supondrá avanzar hacia espacios muy ordenados, luminosos, ventilados; en suma, más cómodos e higiénicos, no desmotivadores para el trabajo productivo.

Como se ha dicho, si los edificios son contenedores de instalaciones y maquinaria, a veces actúan como máquina envolvente. Por tanto, esta puede llegar a ser una dimensión importante en la que se estudien arquitecturas definidas en el ámbito de

- una sustancial evolución de las técnicas constructivas, con el hierro, el acero y el vidrio como materiales protagonistas, inductores de nuevas posibilidades que se precisan merced a técnicas de cálculo resistivo ahora científicamente fundamentadas (Cullman, Ritter, Cremona, etc.), y que a su vez favorecen la invención de nuevas estructuras resistentes⁷². La difusión del hormigón, posteriormente el armado, añadirá nuevas posibilidades resistivas y plásticas al saber hacer edificatorio;
- una innovación en tipologías, que, motivada por los requisitos operacionales, abre la oferta a peculiares ordenaciones espaciales, tanto en planta como en altura, aunque claramente deudoras de las propuestas setecentistas para las manufacturas reales, también de algunas privadas o mixtas;
- nuevas propuestas estilísticas, fruto de las capacidades constructivas y de los *gustos* que afloran en los diferentes momentos históricos.

En definitiva, el desarrollo se produce en las tres dimensiones arquitectónicas clásicas, anteriormente mencionadas, que Vitruvio identifica: la *solidez* (que tiene que ver con los materiales y las técnicas constructivas), la *función* o *comodidad* (programa de necesidades) y la *estética*, condicionada por lo anterior y los valores culturales e ideológicos imperantes o emergentes.

La arquitectura fabril decimonónica es parte de la denominada *arquitectura industrial*, donde tienen cabida otras propuestas como las de los mercados, los

⁷¹ Dentro del paradigma mecanicista, racionalizando el quehacer productivo, F. W. Taylor (1856-1915) busca una organización científica para el trabajo en la empresa. Tras *Shop management* (1903), su texto central es *The principles of scientific management* (1911).

⁷² Al respecto puede considerarse lo avanzado en esta presentación (secc. I.2: «Del metal a la estructura: la construcción con hierro»), aperitivo para lo expuesto en el capítulo 9 de este mismo volumen, J. MANTEROLA: «La construcción y los materiales metálicos».

mataderos o las estaciones de ferrocarril. Según el ingeniero industrial y arquitecto F. CARDELLACH⁷³,

la arquitectura industrial es aquella que tiene una finalidad distinta a la monumental, una finalidad explotativa, industrial [...]. La arquitectura monumental es una pétreo manifestación de las Bellas Artes, al paso que la industrial es la viva y actual expresión del Comercio, manifestada en hierro y demás materiales fabricados.

Es decir, Cardellach contempla básicamente a la monumental como arquitectura pétreo, mientras que de la industrial se recalca el empleo de materiales artificiales, ofrecidos en abundancia —«democratizados»— por la industria. Derivada de necesidades socioeconómicas, en su concepto la arquitectura industrial responde y define una época que esencialmente comprende el siglo XIX, pero para la que es razonable aceptar edificaciones previas, si están igualmente destinadas a la producción. Entre sus características destaca el carácter de *utilitaria* y *funcional*; por tanto, en potencia sujeta a relativamente rápida obsolescencia. Es arquitectura *transparente*⁷⁴, que exhibe desnudez de formas y las renueva. A su vez, el hierro y el acero potencian la fabricación seriada de piezas intercambiables, lo que da lugar a construcciones *prefabricadas*, al menos en parte, más rápidas de ejecutar, en las que se emplean sistemáticamente columnas de fundición y numerosas variantes de vigas y cerchas metálicas, como puede constatarse en los capítulos 9 y 10 de este mismo volumen. Prefabricación y arquitectura de catálogo o de ensamblaje serán conceptos que irán unidos al nuevo saber hacer, que permitirán una explosión de variantes merced a las posibilidades combinatorias que se ofrecen, de modo que se puede hablar de una construcción industrializada. En particular, debido a la subyacente dinamicidad empresarial, la fabril es arquitectura que ha de prever especialmente su evolución temporal (crecimientos superficiales y transformaciones de muy diversa índole) y que adopta con rapidez las nuevas técnicas constructivas.

II.2. De la herencia ilustrada en la arquitectura fabril

Centrados en lo fabril, alternativa a los pequeños talleres dispersos de origen gremial, en el Siglo de las Luces surge una industria concentrada, en la línea de la manufactura colbertista. En esta habita, en parte, el precedente hispano de la tipología arquitectónica que conduce a la fábrica moderna. Articulada en talleres, almacenes,

⁷³ *La enseñanza de la construcción en las escuelas de ingenieros*, 1909, p. 235 (cit. por I. AGUILAR CIVERA, ob. cit., p. 103).

⁷⁴ A diferencia de lo que ocurrió con los ingenieros, el hierro no fue bien visto por los arquitectos como elemento constructivo. Fueron incorporándolo muy lentamente, empleándolo con frecuencia de forma subrepticia, ocultándolo por prejuicios culturales. Esto ocurre en infinidad de edificios; por ejemplo, en el antiguo Palacio de las Artes e Industrias de Madrid (diseñado en 1881 por Fernando de la Torre y inaugurado en 1887), en el que las fachadas se revistieron de ladrillo y se incorporó azulejería y medallones. Hoy alberga la ETSI Industriales de la UPM y el Museo Nacional de Ciencias Naturales (véase la fig. 0.8, del volumen IV de esta misma colección).

patios y alojamientos, su planta ha de adecuarse al tipo de producción que tiene que albergar. Este tipo de establecimiento

debía permitir el desarrollo de un proceso completo de producción, sin interrupciones ni pérdidas de tiempo, mediante una rigurosa organización racional de su espacio interior, según las sucesivas fases del proceso. Además, tenía que facilitar el imprescindible control sobre el producto y las operaciones realizadas, con el fin de conseguir un ritmo constante de trabajo y una máxima eficacia⁷⁵.

En su *Cours d'architecture* (1771), Jacques François Blondel «insiste en la importancia de la adaptación de la distribución del edificio a su producción, aconsejando que se incluyeran aposentos para directores e inspectores, y añadiendo que su arquitectura debía ser sobria y sólida»⁷⁶. A ello, en sus *Principi di architettura civile* (1785), Francesco Milizia «añade la necesidad de incluir residencias no solo para los altos cargos, sino también para los operarios»⁷⁷. Años más tarde, apenas comenzada la nueva centuria, aparece el *Précis des leçons d'architecture données à l'École Polytechnique* (1802-1805)⁷⁸ de Jean-Louis Durand, un texto en dos volúmenes de una gran modernidad que no podemos clasificar como perteneciente a la Ilustración. Dentro de un neoclasicismo formal, pone el énfasis en una concepción funcional y racional y propone una metodología descendente (por refinamientos sucesivos) de diseño, basada en el empleo de elementos modulares simples. Con ello anticipa conceptos para la composición de edificios o complejos decimonónicos; así mismo, ofrece un conjunto de diseños que fueron repetidos/adaptados a lo largo del Ochocientos.

Los edificios fabriles ilustrados fueron concebidos, bien como un gran *bloque unitario*, bien ordenados en *diversos pabellones*, esto último especialmente en establecimientos metalúrgicos. También existen casos en los que se asumen singularidades de ambas propuestas, por lo que deben considerarse las tipologías mixtas. De acuerdo con Aurora Rabanal,

El patio fue en la fábrica del siglo XVIII español un elemento esencial, configurador del espacio y ordenador de los procesos de producción que habían de desarrollarse en torno a él. Área de iluminación, ventilación, comunicación, movimiento de carruajes y vigilancia, fue utilizado también como espacio fabril, encontrándose presente, en mayor o menor número y con distintas dimensiones, en todos los edificios concebidos en forma de bloque unitario⁷⁹.

⁷⁵ Sobre esta temática, A. RABANAL YUS: «Arquitectura industrial borbónica», en el vol. III de esta misma colección: *El Siglo de las Luces: de la industria al ámbito agroforestal*, 2005, pp. 95-130; la cita, en p. 96.

⁷⁶ *Ibidem*, p. 97.

⁷⁷ *Ibidem*.

⁷⁸ Reeditado en 1823-1825, el título cambia en función de la forma de Estado: *Précis des leçons d'architecture données à l'École Royale Polytechnique*.

⁷⁹ A. RABANAL YUS, *ob. cit.*, 2007, p. 101.

Cerradas al exterior, las construcciones en bloque unitario se organizan alrededor de un único patio (por ejemplo, en la Fábrica de Paños en el Real Sitio de San Fernando, construida a partir de 1746), de dos prácticamente iguales, consecutivos y simétricamente dispuestos (caso de la Real Fábrica de Espadas de Toledo, proyectada en 1772, donde uno estuvo dedicado a la producción metalúrgica), o de tres o más patios, en los que a veces uno principal, más espacioso, jerarquiza a los restantes (así es en la Real Fábrica de Paños de Guadalajara, 1719, o en los proyectos de Ignacio Sala, 1728, y José Barnola, 1750, para la Real Fábrica de Tabacos de Sevilla). Herederas en general de la tradición arquitectónica renacentista, son composiciones en las que la organización del espacio de trabajo se pliega a principios de simetría. Constructivamente es frecuente el empleo de naves abovedadas, e incluso se observa un peculiar sistema organizado en cuadrícula continua; las paredes suelen ser de fábrica (ladrillo) o mampostería.

Por imperativos de los procesos de fabricación, en la segunda mitad de la centuria y en establecimientos rurales se llega a propuestas en las que la edificación se segmenta, división que produce una jerarquización espacial, con talleres principales que aglutinan en sus inmediaciones a otros que son satélites. En paralelo, en el desarrollo de la dimensión residencial se contemplan grados diversos en función de la ubicación (rural, suburbana o urbana) y el momento. Valga indicar que varía entre disponer de alojamientos tan solo para algunos maestros y cargos administrativos (por ejemplo, en la hispalense Real Fábrica de Tabacos), hasta aquellos casos en los que el establecimiento está dotado con viviendas —más o menos jerarquizadas— para todo su personal (lo que ocurre en la Real Fábrica de Espadas de Toledo).

Los alzados exteriores y los patios interiores de las reales fábricas presentan una arquitectura sólida y sobria, con mayor severidad en las fachadas de la segunda mitad de la centuria. En ello trasluce la paternidad de los proyectos, en muchas ocasiones debidos a ingenieros militares o artilleros. Al igual que en construcciones defensivas como las ciudadelas, la decoración y el simbolismo se suele concentrar en las portadas, que a veces llegan a funcionar como metáforas de arcos triunfales. Incluso se rematan con esculturas significativas, como es el caso de la Fama de Cayetano da Costa (1755) que corona la entrada del *palacio de la manufactura* que fue la Fábrica de Tabacos de Sevilla. En cualquier caso, se puede hablar de una arquitectura solemne, como corresponde a una manufactura real, solemnidad que en siglo XIX se mutará en funcionalidad. Como se ha observado en un marco más general, pensando en la nueva centuria,

la producción era inseparable del orden y el trabajo de la moral; por ello, la fábrica se convertía en un espacio institucionalizado en el que ejercer el control a través de la previsión de particulares dispositivos funcionales que incidían directamente sobre su organización espacial.

Es en este sentido en el que podemos decir que existe un parentesco con todas aquellas tipologías encaminadas a la salvaguarda del orden y la disciplina: prisiones, hospitales, cuarteles, monasterios...⁸⁰

⁸⁰ I. AGUILAR CIVERA, ob. cit., pp. 169-170.

II.3. *Apunte sobre la arquitectura fabril decimonónica*

La evolución en el Ochocientos profundiza en la línea de la funcionalidad, al tiempo que condicionantes técnicos harán que se vislumbren propuestas claramente diferenciadas⁸¹. Entre los aludidos condicionantes están los relativos a los nuevos procesos de producción, la concentración en la motorización y el cambio de paradigma en las técnicas constructivas. En esta última dimensión, el hierro y el acero protagonizarán una nueva forma de hacer que, por decirlo muy simbólicamente, cambia el arco, disposición pétreo prevalente, por la cercha y la viga (en celosía o triangulada) metálicas, o el pilar de ladrillo o de piedra por la columna de fundición, por ejemplo. Por otro lado, el hormigón, la *piedra líquida* o *piedra artificial*, transformará el trabajoso arte de la cantería en el de encofrar. Sus propiedades resistivas se verán mejoradas al ser armado y, ya fuera del siglo, el pretensado beneficiará sus capacidades para trabajar a tracción, su talón de Aquiles.

La nueva motorización tendrá consecuencias fundamentales. Por un lado, el cambio de las ruedas hidráulicas por las turbinas permitirá disponer de mayores potencias en instalaciones menos voluminosas, al concentrarse en una o pocas máquinas el suministro energético. No obstante, esta solución técnica, que tendrá enorme importancia en España debido al elevado coste del carbón mineral, fija las ubicaciones fabriles en el entorno de los cursos fluidos, y da lugar con frecuencia a establecimientos rurales o periurbanos. La implantación del vapor flexibilizará la localización de los establecimientos industriales, que buscarán preferentemente ubicarse en emplazamientos urbanos y suburbanos en los que se pueda hacer a costes competitivos el suministro del carbón. En particular, ello favorecerá cierta concentración industrial en algunas ciudades portuarias, lo que a la larga constituirá un elemento de ruptura de los sistemas urbanos tradicionales. Pero, si el vapor contribuye a atemperar las restricciones para los emplazamientos fabriles, cuando se pase a producir corriente alterna y se sepa transportar la energía eléctrica económicamente (i. e., a alta tensión), de nuevo se reducirá sustantivamente esta clase de restricción y la localización adquirirá grados de libertad antes impensados.

II.3.1. Entre pisos y naves

El suministro energético basado en motor único, que tiene claro precedente en los molinos de cereal o en los batanes, por ejemplo, supone la existencia en el establecimiento de aparatosos sistemas de poleas y correas que transmiten el movimien-

⁸¹ Centrados en la arquitectura fabril, caso particular de la industrial, dos de los primeros e interesantes textos hispanos al respecto, ambos referidos a Cataluña, son J. A. SANZ y J. GINER: *L'arquitectura de la indústria a Catalunya en els segles XVIII i XIX* (Tarrasa, Publicaciones de la Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès, 1984), donde se plantea un estudio de las tipologías arquitectónicas según sectores industriales y su evolución en el tiempo; y J. CORREDOR-MATHEOS y J. M. MONTANER: *Arquitectura industrial a Catalunya. Del 1732 al 1929* (Barcelona, Caixa de Barcelona, 1984), que con importante aparato gráfico nos acerca, en particular, a la dimensión estética de la arquitectura. De mucho más amplio espectro territorial son los textos citados en la nota 5 de J. SOBRINO (1996) e I. AGUILAR CIVERA (1998).

to a cualquier punto donde sea requerido. Merced a simples y eficientes transmisiones alineadas u ortogonales se favorecerá el desarrollo de edificaciones de forma predominantemente paralelepípedica. Con un solo eje vertical transmitiendo la potencia desde la planta baja (muchas veces desde un edificio auxiliar) se minimizaban las longitudes máximas de transmisión y se obtenía el mayor rendimiento energético. Construidos sobre una base relativamente larga y estrecha, estos edificios ganaban en superficie útil y volumen al crecer en vertical, lo que frecuentemente condujo a cinco, hasta ocho plantas diáfanas, adaptables a muy diferentes requisitos productivos. Se trata de una tipología con claras raíces en el siglo XVIII; en España puede mencionarse el caso de la Fábrica de Indianas de Segismundo Mir en Barcelona a finales de esa centuria, de cinco pisos de altura, y varias otras en el arrabal de la misma ciudad⁸².

Si las manufacturas reales del Setecientos pueden enmarcarse con frecuencia en la tipología genérica de bloque único, las fábricas de pisos también, pero con diferencias muy acusadas. Sin la monumentalidad de los mencionados edificios de la Ilustración, ahora desaparece la circulación en horizontal basada en los patios como nodos de comunicación, al tiempo que la verticalidad imprime carácter diferenciador. En las harineras la fuerza de la gravedad permite un económico fluir de las materias en proceso de transformación hacia la planta baja; en paralelo, la iluminación y la ventilación están entre los argumentos que potencian esta tipología para las fábricas del sector textil, pues se definen espacios más higiénicos y agradables para trabajar. Además, al ganar en altura se reduce la superficie cubierta, y con ello las necesidades para acondicionar térmicamente el edificio. En las instalaciones urbanas, donde el coste del suelo suele ser particularmente elevado, el interés de la verticalidad se acrecienta decisivamente ante el ahorro en superficie del solar. Si las manufacturas reales pueden ser vistas arquitectónicamente como «palacios para la producción», las fábricas de pisos son edificios con apariencia de «viviendas para la producción». Con frecuencia estas últimas serán bloques de ladrillo ocre o rojizo, con fachadas contenedoras de largas hileras uniformes de amplias ventanas, sin soportales ni comercios en las plantas bajas, todo dentro de una relativa sobriedad, adoptando con frecuencia un lenguaje arquitectónico neoclásico ampliamente expandido en Europa. Cuando la motorización es de base hidráulica, la ubicación diferencia normalmente las fábricas de los edificios urbanos de viviendas; si la leña o el carbón mueven las instalaciones por medio del vapor, la chimenea delatará a las claras su función productiva, aunque sea en ámbito urbano, patinando las fachadas con la carbonilla de los humos, eventualmente de las partículas liberadas al mover el combustible.

Sabido es que las altas torres fueron expresión de poder político-militar en el medioevo, como los enhiestos campanarios de las iglesias lo fueron de otro a veces más «intemporal». Pues bien, en el Ochocientos, las chimeneas cumplirán *análogo* papel simbólico, aunque en un marco socioeconómico diferente. Pero su percepción

⁸²J. SOBRINO, 1996, ob. cit., p. 68.

será rápidamente ambivalente. Para unos, son un azote que acaba con el mundo establecido; para otros, las chimeneas se tornan en signos de un progreso redimidor. Así, aunque no necesariamente perteneciente al sector textil, Clarín nos dice en *La Regenta* que, desde la torre de la catedral y con catalejo, el magistral de Vetusta veía «la Fábrica Vieja [que] levantaba sus augustas chimeneas, en rededor de las cuales un pueblo de obreros había surgido», y pensaba:

No, aquel humo no era de incienso, subía a lo alto, pero no iba al cielo; aquellos silbidos de las máquinas le parecían burlescos, silbidos de sátira, silbidos de látigo. Hasta aquellas chimeneas delgadas, largas, como monumentos de una idolatría, parecían parodias de las agujas de las iglesias⁸³.

A modo de contrapunto, aparentemente casi respuesta, en todo caso igualmente «interesada», es la evocación del ingeniero de montes señor Armenteros realizada en 1912. Lo fue en el marco de una reunión en la que los cuatro grandes cuerpos de la ingeniería civil hispana del momento se coaligaban para monopolizar las funciones técnicas civiles del Estado; más precisamente, para bloquear la puesta en marcha del Cuerpo de Ingenieros Industriales, a los que querían confinar en la esfera de lo privado. Naturalmente, su chimenea expelle inocente vapor, no contaminante humo:

[...] y cuando veo surgir el vapor de agua de la erguida chimenea remontándose majestuosamente en el espacio, acude a mi fe de cristiano el recuerdo de grandiosas ceremonias y me parece nuevo incienso grato a Dios, que desde el altar del trabajo se eleva en generosa ofrenda hacia los cielos⁸⁴.

En cualquier caso, elementos a la hora de construir una imagen de marca, de identidad corporativa, los complejos fabriles o edificaciones singulares, sean de pisos o no, y las chimeneas —en particular— serán utilizados hasta en las etiquetas comerciales con fines claramente propagandísticos⁸⁵.

Como se ha dicho, las nuevas necesidades productivas y una revolución en las técnicas constructivas harán que se pase de «paredes de ladrillo con arcadas en la planta baja, columnas de ladrillo en los pisos y forjado de madera en la planta supe-

⁸³ L. ALAS: *La Regenta*, Madrid, Librería de Fernando Fe, 1900, p. 21. En *¡Adiós, Cordera!*, Clarín identifica igualmente al tren con un agente destructor del orden establecido, del pasado patriarcal: «La primera vez que la *Cordera* vio pasar el tren, se volvió loca [...] y el terror duró muchos días, más o menos violento, cada vez que la máquina asomaba por la trinchera vecina».

⁸⁴ *Boletín Industrial*, año xxxi, n.º 5 (mayo de 1912), p. 68.

⁸⁵ Si hasta mediados de siglo el aspecto exterior de las fábricas expelía con frecuencia una impronta más bien mísera, en el último cuarto se busca una imagen atractiva, transmisora de valores positivos como poder o calidad de lo producido. Tomando como referencia la fig. 0.10 del volumen iv de esta misma colección (p. 65), es algo que se puede ver en la etiqueta de la Fábrica de Claudio Arañó y Arañó, donde, tras un plano alegórico de raigambre clasicista, el edificio constituye el fondo; o en la de la Fabril Algodonera, en la que destaca una jactanciosa y polucionante chimenea, símbolo del poder industrial (también una segunda, perteneciente a una locomotora, evocación por excelencia del transporte terrestre en la época).

rior»⁸⁶ a una «arquitectura del hierro» donde columnas de fundición (ya en la década de 1830), vigas y cerchas metálicas posibilitarán (a mediados de siglo) la mencionada ruptura de las proporciones clásicas. En particular, ello facilitará una nueva estética alejada de las restricciones impuestas por la piedra y la madera, al tiempo que se aceleran los procesos constructivos y se gana en incombustibilidad⁸⁷. El empleo de las columnas de hierro fundido permite sustituir los muros interiores de ladrillo y los pilares de madera o ladrillo, lo que mejora la diafinidad de las plantas y facilita la circulación interior o la instalación de nuevas, quizás mayores, máquinas. No obstante, puede reiterarse que los elementos lineales férreos o acerados que participan en la edificación decimonónica reinventan, expansionándolo, lo previamente construido a partir de troncos arbóreos. Aunque con posterioridad surgirán propuestas adaptadas a los estilos regionales, en las fases iniciales de esta mutación, a veces las fábricas textiles fueron directamente importadas de Inglaterra; así,

planos [del edificio], máquina de vapor, telares y columnas de hierro fundido, como es el caso de la Fábrica Arañó en el Poble Nou (Barcelona), que copia el modelo inglés de fábrica textil difundido por Boulton y Watt. Es un conjunto compuesto por un edificio de pisos susceptible de ampliación y otro anexo de planta baja para dependencias auxiliares. Construida en ladrillo, en sus fachadas resaltan las cabezas de los tirantes del forjado y las ventanas abuhardilladas del tejado le confieren un aire inequívocamente europeo; data de mediados del XIX⁸⁸.

Con estos elementos, en los grandes recintos fabriles se disponen edificios funcionalmente especializados. Es lo que, por ejemplo, ocurre en La España Industrial, fundada por los hermanos Muntadas en el barrio barcelonés de Sants⁸⁹, o en la Industria Malagueña, iniciativa de Manuel Agustín Heredia en las inmediaciones del puerto malacitano. Ambos complejos textiles fueron fundados en 1847, y del segundo sabemos que en 1850, «además de un edificio de tres plantas destinado a la elaboración de algodones, el recinto fabril comprende otro de una sola para tejer lino y otro tercero para el blanqueo en común»⁹⁰.

Las naves son edificios de una sola planta, normalmente rectangular, con cubiertas frecuentemente organizadas a dos aguas, montadas sobre cerchas triangulares

⁸⁶ J. SOBRINO, ob. cit., 1996, p. 141.

⁸⁷ Sobre la reducción de la combustibilidad en los edificios fabriles, mediante la sustitución de madera por ladrillos e hierro a finales del siglo XVIII en Inglaterra, A. PACEY, ob. cit., 1974, pp. 217-219.

⁸⁸ J. SOBRINO: ob. cit., 1996, p. 141.

⁸⁹ Sobre este tema, véase el capítulo 16 de este mismo volumen: M. TATJER: «La construcción de los espacios industriales: el caso de Barcelona», esp. secc. III.1, «Los grandes recintos industriales barceloneses».

⁹⁰ J. CAVEDA Y NOVA: *Memoria presentada al Excmo. Sr. Ministro de Comercio, Industria y Obras Públicas por la Junta Calificadora de los productos de la Industria Española reunidos en la Exposición Pública de 1850*, Madrid, Establ. Tip. de Santiago Saunague, 1851.

0.7. Industria Malagueña, complejo a la inglesa fundado en 1847 por Manuel Agustín Heredia:

Segunda gran industria textil española, tras La España Industrial (Barcelona), ocupa el lateral derecho en el grabado superior, donde se representan también la ferrería La Constancia, primeros altos hornos españoles también a la inglesa, y La Química, compañía en la que se producía ácido sulfúrico, ambas de idéntica propiedad. En sus comienzos, la empresa textil tuvo una única chimenea, aunque en 1851, tras la primera ampliación, se añadió una segunda. Si el complejo fue fundado con 2 máquinas de vapor de 40 CV cada una, en 1850 disponía de 260 CV, y en 1862 se alcanzaron los 1100. El edificio situado delante de la misma, de tres plantas, se destinó a la elaboración del algodón. En la planta baja se encontraban los telares mecánicos y en la intermedia se realizaban las preparaciones de la filatura, mientras que la superior albergaba 8 selfactinas, máquinas automatizadas de hilar con 480 husos, y 16 máquinas continuas que sumaban un total de 7200 husos. En 1862, con motivo de la visita de la reina Isabel II a Málaga, se describen las importantísimas instalaciones de la fábrica. En particular se relata la existencia de «6 máquinas de vapor de alta presión, con dobles cilindros para la expansión; con condensación dan un trabajo [potencia en terminología técnica] de 1.100 caballos» y 14 calderas de vapor. La edificación es descrita como de «arquitectura sencilla, [que] tiene un estilo adecuado al objeto a que se destina, y su construcción es sumamente sólida, habiéndose fabricado a prueba de fuego algunos de los departamentos dedicados al algodón. Cuenta con numerosos almacenes, casas para empleados y ciudad obrera o corralones para los operarios. El número de estos fluctúa en 2000 según están los cuadros más o menos llenos» (J. de CARVAJAL-HUÉ: Memoria de la Exposición Provincial celebrada por la Sociedad Económica de Amigos del País en Málaga en abril y octubre de 1862, Málaga, 1863).

La chimenea de pedestal cuadrado y tubo circular del primer plano a la izquierda corresponde, muy probablemente, al sistema de extracción y bombeo de agua que alimentaba el conjunto industrial que se exhibe. En la fotografía (posterior a 1904), tomada desde un patio interior, se observan varios edificios. Se puede constatar que son de tipo inglés, de sólida construcción, con zócalo y esquinas reforzadas en ladrillo. El que se contempla a la derecha, de tres plantas, tiene multitud de ventanas, rematadas con jambas; en el edificio central se comprueban arcos rebajados de ladrillo. Las cubiertas están disimuladas con un murete que prolonga las cornisas. Muy probablemente los muros fueron hechos con ladrillos macizos, al tiempo que las cubiertas se apoyarían sobre cerchas de madera. En ambas plantas de la fachada se pueden contemplar botones férreos que delatan la existencia de tirantes que contribuían a dotar de mayor solidez a la construcción. El patio está empedrado, con lo que se perseguía reducir sustancialmente el polvo y la suciedad para no manchar los géneros. En su entorno, posteriormente un barrio obrero, se construyeron viviendas para los capataces y empleados destacados. (Fuente: A. SANTIAGO RAMOS, I. BONILLA ESTÉBANEZ y A. GUZMÁN VALDIVIA: Cien años de historia de las fábricas malagueñas, 1830-1930, Málaga, Acento Andaluz, 2001; G. HEREDIA GARCÍA y V. LORENTE FERNÁNDEZ: Las fábricas y la ciudad: Málaga, 1834-1930, Málaga, Arguval, 2003). En un ámbito sin tradición textil, la opción empresarial de los Heredia y los Larios, familia esta última a la que rápidamente quedó ligada la empresa, «fue la integración vertical —el control sobre todo el proceso productivo, desde la entrada de inputs a la salida del producto acabado—, en una fábrica similar, por número de obreros, maquinaria y dimensiones de las instalaciones, a los modelos británicos de la época, en la que desde un principio mezclaron métodos de producción time saving y labor saving». A. PAREJO: «Sobre la segunda mayor empresa textil algodonera española: Industria Malagueña, S. A. (1882-1934)», en A. Carreras, P. Pascual, D. Reher y C. Sudrià (coords.): Doctor Nadal. La industrialización y el desarrollo económico de España, 2 vols., Barcelona, Universitat de Barcelona (Col·lecció Homenatges), pp. 1188-1205.



apoyadas en los laterales, sean muros o no. Si la estructuración en pisos es particularmente apropiada para los sectores textil (hilado y tejeduría) y harinero, las naves son fundamentales en el metalúrgico y en el metalmeccánico. En ellas se llega a instalar establemente maquinaria muy pesada y, merced a puentes-grúas más o menos evolucionados, se manejan materiales y productos en elaboración también muy pesados. Para facilitar la flexibilidad productiva, en la nave se busca la diafanidad de la planta. Por ello los beneficios obtenidos con la construcción en hierro fueron muy importantes, algo que incide no solo en la movilidad (por reducción del número de obstáculos físicos) y reprogramabilidad de los espacios, también en la ligereza y la altura constructivas.

Entre los problemas que se plantean en las naves se encuentran las dificultades de iluminación, que suele ser cenital y lateral, y de acondicionamiento térmico, así como el crecimiento en planta, que básicamente había de ser por prolongación lineal o por adición lateral. Si la primera opción puede plantear problemas por las distancias que limitan la circulación de personas o bienes físicos, en la segunda, al reducirse las fachadas laterales, y, por tanto, los posibles ventanales, se suelen agudizar los de iluminación, así como los de ventilación. La idea de transformar las cubiertas simétricas a dos aguas en otras de perfil en diente de sierra, con un paño vidriado orientado al norte, *shed*, posibilitó la sistemática adición lateral de naves. Ello dio lugar a un sistema constructivo sostenido por una malla regular de pilares que permitía obtener superficies unitarias importantes, al tiempo que se mantenían condiciones de iluminación cenital natural y uniforme. Por concepto, esta solución facilita la ampliación bidimensional del recinto edificado y es de aplicación a múltiples procesos productivos en los más variados sectores. Enmarcable en la arquitectura fabril del hierro, también del hormigón, en España este tipo de desarrollo surge a finales del Ochocientos; probablemente fue la fábrica armera de Orbea de Éibar (fundada en 1864) la primera que empleó el *shed*, en 1890⁹¹. No obstante, esta es innovación que será más propia del siglo xx hispano, coetánea de la gran motorización eléctrica, lo que a su vez flexibiliza sobremanera las modificaciones productivas.

Obviamente, las tipologías puras en pisos y en naves, eventualmente con *sheds*, son extremas, y en función de las necesidades aparecieron toda clase de combinaciones, lo que en particular condujo a infinidad de soluciones cuando entraba en juego la variable vivienda (para directivos, encargados u obreros). A veces disjuntas de las edificaciones productivas, en otros casos integradas con ellas, el objetivo aquí buscado no es establecer un panorama al respecto, sino dejar enunciados vectores arquitectónicos esenciales. No obstante, valga mencionar que los patios interiores de las manufacturas ilustradas se plasman en el siglo xix como conjunto de «corrales y pasos», suerte de patios exteriores, a veces puramente funcionales, en otras con ambi-

⁹¹ I. AGUILAR CIVERA, ob. cit., 1998, p. 179.

ción representativa (frecuentemente con decoración vegetal y algo de mobiliario urbano: farolas, alguna fuente o banco). De este modo, en el plano de la fundición zaragozana de hierros y bronces de Antonio Averly (fig. 0.8) estos espacios se identifican con la letra I. Es oportuno señalar que *corral* significó antaño «patio principal» (*DRAE*). En un próximo volumen se abordará la arquitectura industrial, marco donde está comprendida la fabril, en un horizonte temporal más amplio, abarcando incluso la evolución en la primera mitad de la pasada centuria.

II.3.2. De la función y el hormigón

Como se ha comentado, la evolución en las tipologías de los espacios fabriles está dictada por los aspectos técnicos y organizativos de los procesos productivos (la *funcionalidad* o *comodidad* vitruviana); en ella juegan un papel importante la generación y la distribución de la fuerza motriz, y es posibilitada por los nuevos materiales, técnicas de cálculo y de construcción (cuestiones ligadas a la *solidez* vitruviana). En todo esto subyacen, además, valores culturales, económicos e ideológicos que transpiran a través de la estética (la *belleza* vitruviana).

La última es una dimensión en la que existe una hipertrofia relativa, nunca absoluta, de estudios, mientras que para la primera se puede hablar de importante distrofia. En efecto, lamentablemente, la funcionalidad productiva y su reflejo arquitectónico son cuestiones a las que la historiografía de la arquitectura fabril no ha concedido aún la importancia que en nuestra opinión merecen. No obstante, hay atenuantes para ello, al menos en dos sentidos. Por un lado, es sabido que a veces las fábricas se establecieron en edificios diseñados con programas previos, incluso muy diferentes. En este sentido puede recordarse la infinidad de empresas decimonónicas que, tras la desamortización eclesiástica de Mendizábal (1836), se instalaron en conventos de las más diferentes órdenes religiosas. Como se ha manifestado tomando como ejemplo el caso de Sevilla,

Imaginar esos edificios religiosos con muros de tres pies de espesor, artesonados en los techos y elementos portantes de madera induce a pensar en los problemas de aprovechamiento espacial que se plantearían, en los quebraderos de cabeza que ocasionarían a capataces, técnicos y patronos, y en los costes económicos adicionales que acabarían revirtiendo en un ineficaz rendimiento económicos global. Si reparamos en su situación urbana, en las calles angostas que les daban acceso, en la lejanía laberíntica respecto de las principales vías de comunicación y embarque de mercancías y materias primas, el puerto y la estación, la industrialización sevillana reviste las características de auténtica proeza⁹².

A lo anterior hay que añadir que rara vez están documentadas las adaptaciones que se realizaron al respecto, por lo que la arqueología industrial será, en múltiples

⁹²J. SOBRINO, ob. cit., 1996, pp. 97-98. En este amplísimo y siempre vivo ámbito de la reutilización de edificios se encuentra, por ejemplo, la Fábrica de Tabacos valenciana, que entre 1828 y 1914 fue establecida en la antigua aduana (1758-1802), o la dieciochesca Fábrica de Tabacos hispalense, que alberga el rectorado y servicios centrales de la Universidad de Sevilla.

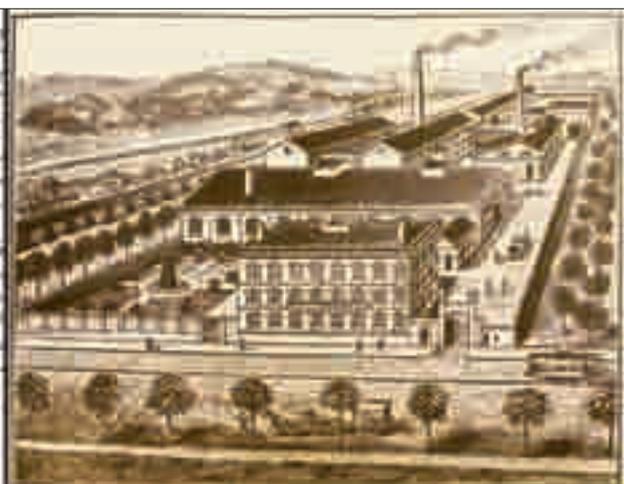
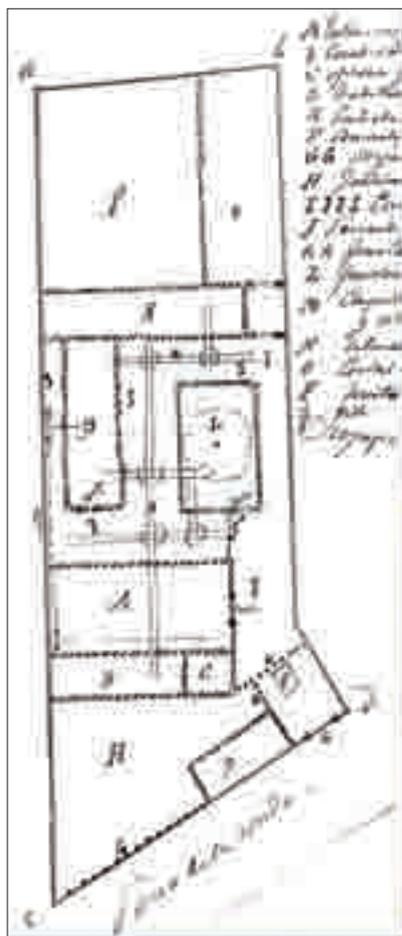
0.8. Averly (Zaragoza, 1863), fábrica moderna del sector metalmecánico, en 1880 inaugura instalaciones en las inmediaciones de la estación del ferrocarril de MZA entonces denominada de Campo Sepulcro:

1) Plano autógrafa de Antonio Averly (1879); 2) Grabado que idealiza el conjunto villa-factoría a vista de pájaro, donde puede observarse al fondo un tren que se aproxima a la estación, así como un tranvía que circula por delante de la monumental portada, a lo largo del antiguo paseo de las Tapias del Carmen, hoy paseo de María Agustín (h. 1905); 3) Salida de la fábrica (h. 1905); 4) Retrato del ingeniero fundador de la empresa; 5) Reverso de la medalla al mérito otorgada en la Exposición Nacional de Minería, Artes Metalúrgicas, Cerámica, Cristalería y Aguas Minerales (Madrid, 1883); 6) Turbina hidráulica (h. 1905; fuente: J. IGUAL: Saltos de agua. Motores e instalaciones hidráulicas, Madrid, Dossat, 1913).

Como en las manufacturas reales ilustradas, la decoración y el simbolismo se concentran en la portada, en cierto modo metáfora de arco triunfal. En este caso se proclama y potencia el prestigio de la empresa al ser reproducida en fundición de gran tamaño la medalla (5) y su anverso (con busto del rey Alfonso XII), además de una bonita alegoría de la industria. El plano (1) explicita que la superficie (inicial) del solar era de 11.000 m² y muestra admirablemente la racionalidad de la organización de la factoría, esencialmente basada en tres naves: el taller de maquinaria (A); la fundición (L), provista de un puente grúa; y la carpintería, donde se elaboran y almacenan los modelos para la fundición (M). Además, se identifican la entrada (E), la báscula (F), corrales y paso (I), almacenes varios (de hierro en barras, B; de madera, N); corral de desahogo (O) y huerta-jardín posterior (P). El transporte interno de materias primas y productos en elaboración o acabados se facilita merced a una red férrea arborescente provista de 5 plataformas o placas giratorias (K) y dos pescantes (J). Las oficinas y la sala de dibujo de la factoría (C) están en las inmediaciones de la entrada. La vivienda del propietario («habitaciones del dueño», D), de estilo neorrenacentista de inspiración francesa, disfruta de unos jardines (H), y el conjunto está cercado con verjas de hierro (G). El taller de maquinaria es un edificio de una planta, de ladrillo y cubierta a dos aguas, que se ilumina cenitalmente (nave central de tres, más alta) y por el testero del fondo. La cercha es de madera con tirantes metálicos, y soporta un puente rodante. Las columnas son de fundición e integran grúas giratorias. El taller de carpintería es de dos pisos y tiene unido el almacén de modelos. El taller de fundición se encuentra compuesto por una nave alta (con puente grúa) a la que se le adosa otra más baja con los hornos, entre otras instalaciones.

Inicialmente limitada a la construcción mecánica, desde 1880 la empresa amplió actividades a la fundición de hierro y bronce y se convirtió en la más importante del sector metalmecánico de Zaragoza a lo largo del Ochocientos. Especializada en fundición artística y maquinaria para el sector agroalimentario, en la construcción de turbinas hidráulicas llegó a ser la segunda empresa española (entre 1869 y 1903, construyó más de 300 unidades e instaló más de 9.000 CV), tras la gerundense de los Planas. En el ámbito de la fundición artística desarrolló un amplísimo catálogo de mobiliario, particularmente del urbano. Es realmente excepcional el que la empresa permanezca aún en funcionamiento, operando en unas instalaciones que se extienden sobre un solar que difiere, pero no grandemente, del original.

En 1885 Antonio Averly participó activamente en la constitución de Fundición y Construcciones Metálicas del Nervión-Averly y Cía., en el barrio de San Mamés de Bilbao (fundición de hierro y bronce; calderería y material para ferrocarriles y construcciones metálicas; maquinaria, especialidad en turbinas Francis y Pelton, reguladores de precisión, bombas centrífugas de alta presión, material para minas; hornos de panadería, prensas de vino y aceite). En la década de 1950, esta empresa, que a principios del siglo xx había cambiado su razón social a Gracia y Cía., fue absorbida por Euskalduna.



casos, disciplina proveedora de datos de gran interés. Esto plantea la cuestión de la complementariedad entre documentos y restos físicos de las antiguas instalaciones; dicho de otra forma, entre la historia y la arqueología, cuestión sobre la que se volverá en la próxima sección. Salvo excepciones, es nuestra convicción que los relativamente escasos documentos disponibles no han sido suficientemente analizados, tampoco sistemáticamente buscados. Si, por el contrario, se piensa en los proyectos de nueva planta o de transformaciones importantes, es frecuente que los archivos municipales tengan al menos la documentación relativa a la motorización de la fábrica, algo particularmente probable cuando se consideraban máquinas de vapor, pues las ordenanzas de los municipios hubieron de ser particularmente exigentes al respecto, ante los evidentes riesgos de explosión. Pero estas dificultades y carencias hay que verlas como incentivos para perfeccionar nuestro conocimiento del acoplamiento entre los procesos productivos y el edificio contenedor.

Si en la representación gráfica de las construcciones la descripción de la planta ha sido históricamente cuidada con esmero⁹³, el argumento sobre su importancia es igualmente aplicable en este ámbito, sobre todo cuando este tipo de información es crucial para deducir aproximaciones al funcionamiento real de la fábrica.

Como se ha avanzado, en lo relativo a nuevos materiales y técnicas de construcción el siglo XIX no se limita al hierro y al acero. En efecto, si la centuria contempla la expansión y el perfeccionamiento de la arquitectura del hierro, del mismo modo que las máquinas de vapor comenzaron a ser sustituidas por motores de combustión interna o eléctricos, la realización del armazón edificatorio con hormigón empezará a ser realidad a finales de la centuria. En este sentido, se puede constatar el uso de la *pie-dra líquida* tanto en la arquitectura como en la obra pública (en la hidráulica, en particular) o en la minería, donde el *entibado* (aseguramiento con madera) dejará paso al *blindaje* (aseguramiento de carácter metálico, hacia 1870), y posteriormente se introducirá la *fortificación* (tradicionalmente con mampostería) al hormigón, esta última limitada durante el siglo a emboquilles de pozos. Es decir, sin que sea con carácter absoluto, y simplificando el esquema, durante el Ochocientos se consolida el empleo del hierro y, de forma incipiente, comienza a abrirse paso el hormigón.

El envejecimiento de las estructuras férreas, particularmente de las roblonadas sometidas a cargas alternantes, y cuestiones relativas a costes o a resistencias a los incendios se encontrarán entre los argumentos a favor de la nueva técnica constructiva, mientras que «su posibilidad de empleo para grandes luces, eliminando apoyos

⁹³ Por ejemplo, en los dibujos militares renacentistas la planta era de casi inexcusable definición para los edificios más importantes, mientras que los restantes podían ser representados a vista de pájaro o con perspectivas varias, desde cónica hasta cabellera, incluso frontal. En cualquier caso, la denominada *perspectiva militar* era muy apreciada en este ámbito por reflejar al menos los cercos perimetrales de las plantas (véase M. SILVA SUÁREZ: «El lenguaje gráfico: inflexión y pervivencias», en el vol. 1 de esta colección: *El Renacimiento: de la técnica imperial y la popular*, 2.^a ed., 2008, pp. 239-305, esp. pp. 272-289).

intermedios; y, en segundo [lugar], las facilidades de reparación o refuerzo ante aumentos de sobrecargas, así como la sencillez en la sustitución de tramos»⁹⁴ estarán por la prevalencia del hierro laminado y el acero. Pero la búsqueda de lenguajes estéticos nuevos, de una identidad diferenciada, terminará por apoyar la difusión del hormigón, cuestión que para algunos será vivencial, como se infiere de las siguientes líneas, donde incluso se pueden vislumbrar expresiones cuasibíblicas:

El hierro no tiene pasado para el hombre [...] no resiste a la intemperie. Procede de óxidos y en óxido se convierte [...] La intensidad de las cualidades resistentes de este material reduce su arquitectura a esquema sin corporeidad, se queda en esqueleto [...] No es posible superar la sensación de desagrado fisiológico que visual y táctilmente recibimos del hierro [...] Mientras que en las ruinas de la Arquitectura de piedra los sillares conservan su naturaleza y su dignidad, las ruinas de las construcciones metálicas son repelentes con sus elementos oxidados y retorcidos⁹⁵.

En lo dicho subyace una evocación de la «dignidad de la piedra» que nos recuerda el profundo lamento de Rodrigo Caro (1573-1647), aficionado a la historia y a la arqueología, en su conocido poema *A las ruinas de Itálica*: «Fabio, si tú no lloras, pon atenta / la vista en luengas calles destruidas; / mira mármoles y arcos destrozados, / mira estatuas soberbias, que violenta / Némesis derribó, yacer tendidas». Pero, igualmente, a la *piedra líquida* o *artificial* y su (ab)uso le surgirán detractores, cuestión que escapa al período aquí considerado.

II.4. Ampliando sintéticamente la perspectiva: patrimonio y arqueología industrial

Miguel de Unamuno, quien detesta —entre otras cosas— los cambios paisajísticos y urbanísticos que trae consigo la industrialización, llegará a escribir:

Alguien ha dicho que, dentro de algunos años, las actuales máquinas de vapor, sustituidas por otros motores, se convertirán en monumentos arqueológicos, yendo a parar a museos. Puede muy bien suponerse, con igual razón, que esas altas chimeneas de las fábricas, cuyo humo se divisa desde la reliquia de la vieja Torre de los Zurbarán, llegarán a ser también curiosidad arqueológica, mudos testigos de cuanto fue y ha muerto. Y como un romántico de hoy puede ir a la Casa-Torre begoñesa a meditar en el irrevivible fluir del tiempo y en la eterna mudanza de las cosas, así podría ir mañana un futuro romántico al pie de las ruinas que de nuestros actuales hornos queden⁹⁶.

⁹⁴ Argumentos de Domingo Mendizábal recogidos en J. R. NAVARRO VERA: *El puente moderno en España, 1850-1950: la cultura técnica y estética de los ingenieros*, 2 vols., Madrid, Fundación Juanolo Turriano, 2001, vol. II, p. 10.

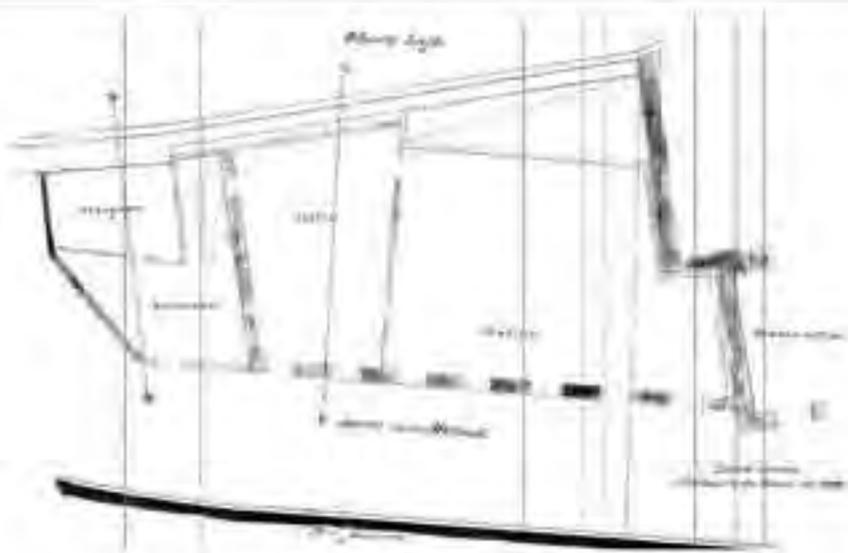
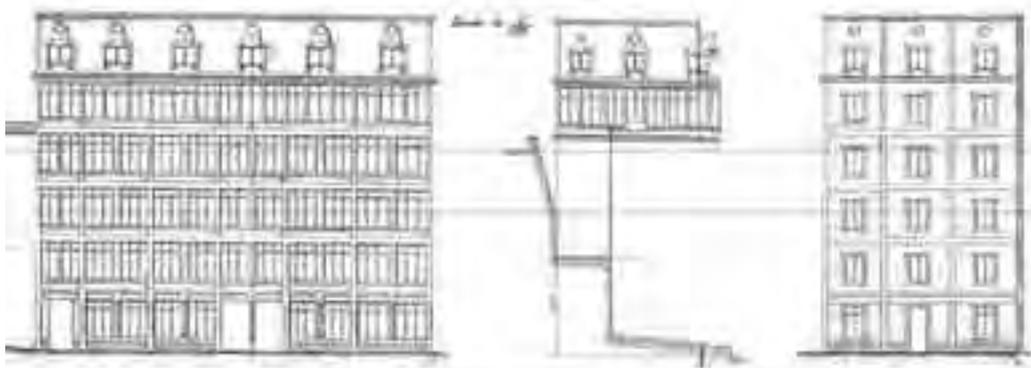
⁹⁵ C. FERNÁNDEZ CASADO: «Teoría del puente», *Revista de las Ideas Estéticas*, 34 (abril-mayo-junio de 1951), pp. 39-60. Obviamente, los fenómenos de oxidación se producen, sobre todo en esas fechas, por insuficiente conservación, pues ya existen «medios químicos para evitar su degradación», como afirmaba Lucio del VALLE en 1861 (ob. cit., p. 11).

⁹⁶ M. de UNAMUNO: «La Casa-Torre de los Zurbarán», en *De mi país*, Madrid, Espasa-Calpe, 1898, p. 140.

0.9. La Ceres de Bilbao, edificio diseñado en 1899 por el ingeniero de caminos Ramón Grotta y Palacios, es la primera fábrica enteramente construida en España con hormigón armado, sistema Hennebique: Menos costosa que la sillería, el ladrillo o el acero, más resistente al fuego que la madera, para luces pequeñas y medianas, la construcción con hormigón armado comenzará a difundirse en España con el cambio de siglo (las grandes luces requerirán el pretensado, desarrollo propio del siglo xx con el que se aumentará la capacidad para trabajar a tracción). Por ejemplo, son diseños y obras de esos momentos el puente tranviario de La Peña (Bilbao) y el carretero de Golbardo (Santander) (véase la fig. 8.3 en este mismo volumen). Sito frente al muelle de la Merced, el edificio de La Ceres fue estructurado en planta baja y cuatro pisos, con una cubierta abuhardillada que desapareció en la década de 1950 al añadirse dos pisos. Para los pilares y dinteles de la estructura se empleó hormigón armado (las barras y flejes de hierro y acero son elementos incorporados para trabajar a tracción, mientras que el hormigón lo hace a compresión). Los pilares de la planta baja son de 40 × 40 centímetros, bajando las dimensiones a razón de 5 centímetros por planta hasta la cuarta (i. e., en la última y en la buhardilla los pilares son de 20 × 20). La obra se ejecutó en siete meses.

Declarada bien cultural, con la categoría de monumento (junio de 1998), en el Inventario General del Patrimonio Cultural Vasco se describe como sigue: «La fachada, con fábrica de ladrillo enfoscado y piezas modulares de piedra artificial, presenta una cuidada factura con distribución uniforme marcada por la cuadrícula formada por las fajas correspondientes a las alineaciones de pilares y forjados. Se organiza la misma en seis ejes con vanos pareados excepto en el eje extremo que marca el quiebro de la alineación, más pequeño y con vanos sencillos. Los huecos de las plantas originales son en arco rebajado con dintel curvado y decoración moldurada, elementos que confieren prestancia a este edificio industrial». Como puede comprobarse, esta descripción de los huecos no se ajusta al dibujo del proyecto inicial, ya que el ejecutado fue uno transformado, obtenido «reduciendo la superficie encristalada, tanto para disminuir el coste de la obra como principalmente por temor, triste es decirlo, a los desperfectos que en ella podría ocasionar la malevolencia» (G. REBOLLO: «Construcciones de hormigón armado, sistema Hennebique», Revista de Obras Públicas, I, junio de 1901, pp. 233-234). Ello significa cierto alejamiento de las teorías higienistas del momento, que pugnaban por maximizar la iluminación y la ventilación naturales. Lejos de estar trabajado el hormigón con un lenguaje propio, en la fachada se observan rasgos frecuentes en la arquitectura francesa del siglo xix. Muy probablemente, en esta reformulación intervino el joven arquitecto Federico Ugalde, hijo de Toribio de Ugalde, empresario de origen riojano preocupado por el desarrollo de la industria harinera hispana, impulsor y accionista de La Ceres, fundada en 1891 (J. ROSELL y J. CÁRCAMO: La fábrica Ceres de Bilbao: los orígenes del hormigón armado y su introducción en Bizkaia, Bilbao, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Bizkaia, 1994). Edificio urbano, oculta su función industrial (fue creado para una técnica y un modo productivo nuevos) con apariencia de viviendas; su actividad fabril fue efímera, y actualmente está dedicado a usos de habitación. En el estado actual del inmueble puede constatar que la planta baja se transformó para acoger soportales y recuperó la buhardilla. En el proyecto inicial, la planta de los pisos aparece diáfana, solamente interrumpida por las columnas (retícula de aproximadamente 4,5 × 4,5 metros); el dibujo de la planta baja (que se reproduce con una escala algo mayor) identifica los espacios, lo que permite reconstruir en parte su organización productiva: molino, motor (con la línea C-D de corte); generador y gasógeno (espacios cortados por la línea A-B). (Fuente: Archivo Foral de Vizcaya). (Nota: los planos aquí reproducidos no coinciden con los impresos en la Revista de Obras Públicas en 1901; ninguno de los dos corresponde exactamente al proyecto ejecutado, y tampoco a lo que hoy se puede contemplar).

FABRICA DE HARINAS DE BILBAO



Si la técnica es cultura y motor cultural, la actividad industrial es generadora de un patrimonio de gran valor. Parte de nuestra identidad cultural, el industrial es un patrimonio histórico muy amenazado, entre otras causas por los intereses especulativos debidos a la presión urbanística. Nacida en relación con el movimiento de revalorización del patrimonio industrial y surgida en el último tercio del pasado siglo, se puede decir que la Arqueología Industrial es una disciplina cuya finalidad «es el descubrimiento, la catalogación y el estudio de los restos físicos del pasado industrial para conocer a través de ellos aspectos significativos de las condiciones de trabajo, de los procesos técnicos y de los procesos productivos»⁹⁷. Es decir, se ocupa del estudio de los aspectos materiales de las actividades ligadas a la producción y la distribución de bienes; interesan aquí en especial las cuestiones ligadas al saber y al hacer técnico. Sus análisis son complementarios de los históricos, los basados en documentos escritos, sabiendo que a veces las trazas físicas preservadas no coinciden con lo esperado a partir de las antedichas fuentes:

la Arqueología Industrial puede ofrecer una apreciación de la tecnología y de su evolución que sería casi imposible obtenerla a partir de fuentes escritas. Muchas innovaciones, además, fueron realizadas por particulares —artesanos o pequeños comerciantes— guiados por su experiencia diaria y de las cuales nunca existió documentación. La Arqueología Industrial puede, además, confirmar las fuentes escritas o evidenciar una falsedad⁹⁸.

Ciertamente, con frecuencia los documentos se escriben con intencionalidades, sesgo que en ocasiones puede ser eliminado o atenuado con el análisis de lo observable, aunque hay que señalar que en la interpretación de lo imperfectamente observado se pueden introducir otros sesgos. Pero muchas veces los documentos escritos no existen, y conviene apuntar que la ciencia alcanza plena eficacia con la publicación de sus resultados, lo que no es cierto en general respecto a la técnica, que eventualmente desarrolla y usa la primera como instrumento. Por ello, cabe recordar de nuevo «la existencia de conocimientos técnicos empíricos relevantes no integrados en teorías científicas, [...] transmitidos dentro de la cultura particular de la empresa», que si acaso fueron reflejados en formas grisáceas o secretas de literatura, destruidas o perdidas con altísima probabilidad. En efecto, en el marco de la técnica se crean saberes no siempre revelados públicamente, y de ahí el interés de estos estudios arqueológicos basados en lo que se preserva de lo físicamente realizado⁹⁹. Ello es

⁹⁷ K. HUDSON: *Industrial archaeology: an introduction*, Londres, John Baker, 1963, p. 36.

⁹⁸ R. ARACIL: «La investigación en arqueología industrial», en *I Jornadas sobre la Protección y Revalorización del Patrimonio Industrial*, Bilbao, Gobierno Vasco, 1984, p. 20.

⁹⁹ En este sentido, es importante señalar la existencia de un Plan Nacional de Patrimonio Industrial, y merece la pena destacar la existencia de un número monográfico de *Bienes Culturales* (el 7) editado por el Instituto del Patrimonio Histórico Español (IPHE), actualmente denominado Instituto del Patrimonio Cultural de España (IPCE Ministerio de Cultura), en 2007. Se estructura en cuatro

potencialmente importante para mejorar nuestro saber sobre procedimientos usados e innovaciones realizadas, lo que además nos acerca a la historia económica y social, instrumento de aproximación a la historia de la técnica que también se considera en esta colección. A la arqueología industrial se le dedicará un hueco específico en un próximo volumen.

III

UNA PERSPECTIVA DEL VOLUMEN

Los dieciséis capítulos de este volumen se pueden contemplar fundamentalmente estructurados en dos partes. En los siete primeros se hace hincapié en los lenguajes básicos de la técnica. La segunda parte, dedicada a diferentes desarrollos técnicos y científicos, se puede ver estructurada en tres bloques de capítulos. El primero comprende cinco, donde el último, el relativo a los motores de combustión, es en realidad punto de articulación con el siguiente grupo. Gira este primer paquete en torno a la mecánica aplicada, abarcando desde la mecánica de los medios continuos hasta llegar a las máquinas, incluidas las térmicas, pasando por el diseño de estructuras. Aunque desde perspectivas muy diferentes, el segundo bloque considera dos ramas sustantivas de la física que adquieren la mayoría de edad durante el Ochocientos, la termodinámica y la electricidad; finalmente, el tercero oscila entre el paisaje industrial, más propiamente el fabril, y el diseño de la urbe. Fábricas y ciudad burguesa terminarán compartiendo preocupaciones emergentes, que alcanzan grados muy diferentes de desarrollo. Entre otras, la movilidad (accesibilidad y velocidad), la seguridad, la higiene, la dotación de instalaciones o infraestructuras para su mejor funcionamiento, etc. Cierra el volumen un anexo, dedicado a un singular e interesante álbum de dibujos que presentó la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona en la Exposición Universal de Viena (1873), organizada en torno al tema «Cultura y Educación».

Los lenguajes son instrumentos esenciales para la comunicación, no solo para la interpersonal, sino también para los autodiálogos, los que se establecen con uno mismo, fundamentales en los procesos creativos y de refinamiento de diseños, en suma para operar sobre nuevas concepciones o transformar realidades existentes. Palabras, dibujos y cálculos (técnicos y económicos) forman un todo en los proyectos.

La importancia que concedemos a los lenguajes básicos de la técnica ha sido una constante en la presente colección. El Renacimiento es la época en que las lenguas romances se adoptan oficialmente para hablar de técnica, a diferencia de la

0.10. Plano detallado de la Fábrica de Hierros de El Pedroso. Proyecto de reforma (Archi-vo Municipal de El Pedroso, esc. 1:200, ms., 132 × 102 cm, h. 1910-1912): *La siderurgia en la Sierra Norte sevillana se remonta a la Roma imperial. Las instalaciones de la Compañía de El Pedroso y agregados (1817) fueron transformadas por el artillero liberal Francisco A. Elorza (director entre 1832 y 1844, año en que pasó a dirigir la Fábrica Nacional de Trubia) en una factoría a la inglesa, con dos altos hornos (un tercero en 1847), «afinerías, talleres de carpintería, almacenes para el carbón y los hierros, casas para los trabajadores, capilla, etc.». El guipuzcoano «abrió nuevos caminos para facilitar el transporte del mineral y combustible así como la salida de los hierros; logró que se adquirieran amplias extensiones de terreno forestal impulsando las repoblaciones de arbolado a fin de asegurar el suministro de leñas» (C. GARCÍA MONTORO: «Francisco A. Elorza en los comienzos de la industrialización andaluza», Baética: Estudios de Arte, Geografía e Historia, 19/2, 1997, pp. 243-254). Los hierros de esta fábrica alimentaron fundiciones sevillanas como la de San Antonio (de Narciso Bonaplata, que construyó el puente de Isabel II o de Triana) o la de Hermanos Portilla y White (que realizó en Jerez la Real Bodega La Concha para González Byass y motorizó en diversas ocasiones buques de la Marina). A la Compañía de Minas y Fábrica de Hierros de El Pedroso (1877) corresponde el plano de la factoría (con doble leyenda; la escrita en alemán no se reproduce), situada en la confluencia del arroyo de San Pedro con el río Huéznar. El proyecto es representativo de la técnica empleada a finales del siglo XIX. No es posible detallar aquí su análisis; baste indicar la presencia de tres altos hornos con las estufas para calentar el aire (6), hornos de pudelar Siemens (14), talleres (29 y 30), canal de llegada del agua y pantano (34 y 35), máquina soplante de vapor y caldera (9) y diversas ruedas hidráulicas, así como machacadoras de mineral, molinos de arena, martillos de vapor, trenes de cilindros con prensa y tijeras, parques de carbón y de leña, etc. Además presenta una zona residencial con viviendas para el encargado de los hornos, el administrador y el director facultativo (en la zona superior izquierda; fuera del recinto se hicieron albergues para 500 obreros y sus familias, escuelas, etc.). Las fotografías delatan el estado de degradación en el que lamentablemente se encuentra este singular conjunto patrimonial. Valgan como botón de muestra para una siempre imperiosa reflexión y subsecuente acción.*

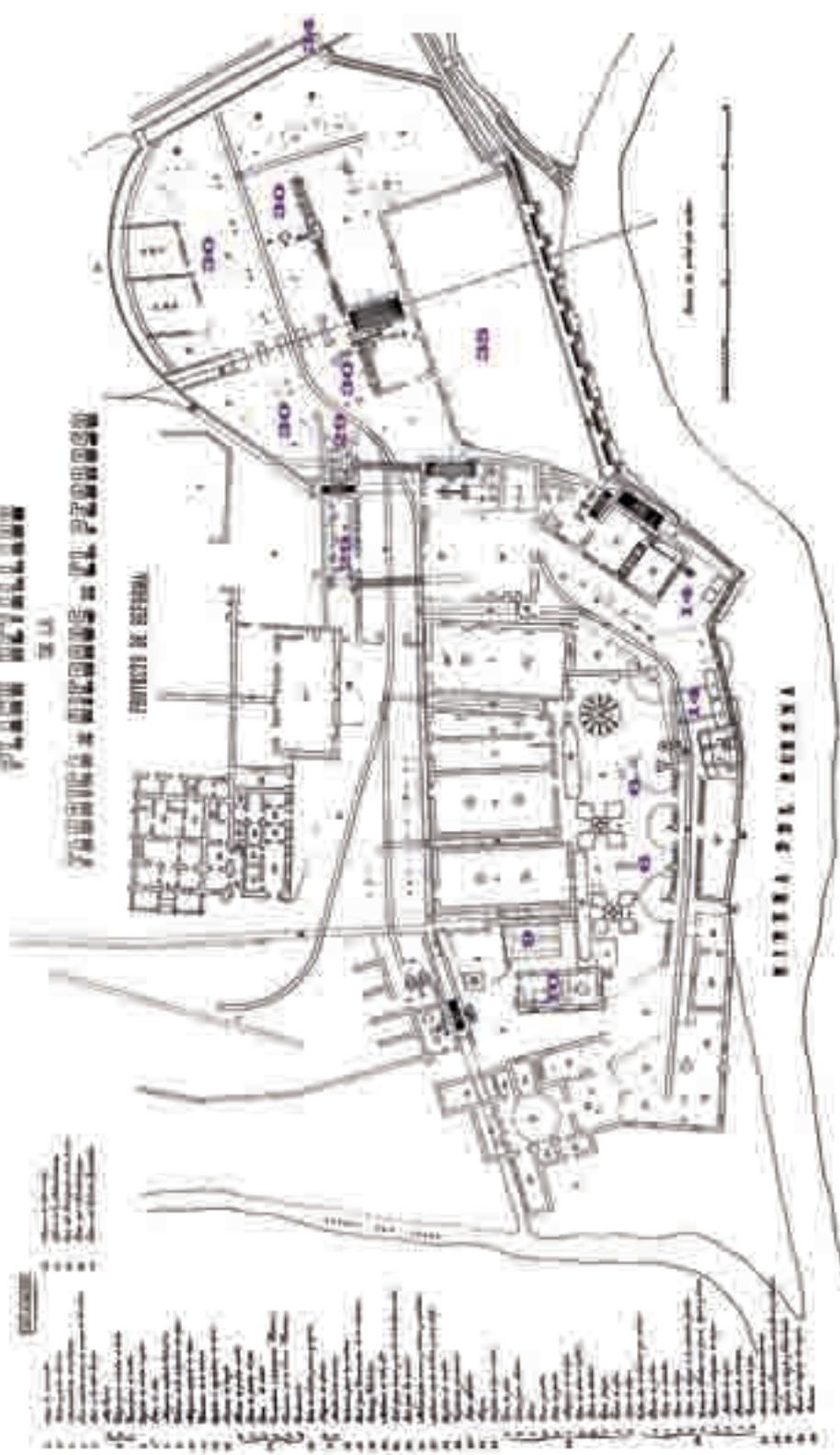


PLANO GENERAL DE LA

LA

PLANTA DE LA FABRICA DE CEMENTO DE LA

PROVINCIA DE BURGOS



- 1. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 2. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 3. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 4. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 5. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 6. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 7. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 8. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 9. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 10. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 11. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 12. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 13. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 14. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 15. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 16. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 17. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 18. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 19. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 20. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 21. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 22. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 23. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 24. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 25. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 26. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 27. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 28. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 29. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 30. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 31. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 32. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 33. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 34. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 35. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 36. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 37. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 38. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 39. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 40. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 41. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 42. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 43. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 44. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 45. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 46. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 47. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 48. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 49. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 50. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 51. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 52. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 53. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 54. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 55. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 56. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 57. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 58. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 59. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 60. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 61. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 62. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 63. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 64. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 65. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 66. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 67. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 68. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 69. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 70. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 71. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 72. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 73. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 74. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 75. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 76. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 77. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 78. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 79. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 80. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 81. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 82. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 83. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 84. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 85. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 86. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 87. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 88. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 89. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 90. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 91. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 92. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 93. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 94. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 95. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 96. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 97. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 98. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 99. Edificio de la Fábrica de Cemento
- 100. Edificio de la Fábrica de Cemento

ciencia universitaria que seguirá inmersa en el latín. De este modo, en el primer volumen se dedicó un amplio espacio a la lengua, comunicación verbal, y al dibujo (cartográfico, arquitectónico y de máquinas)¹⁰⁰. En este último caso se trata básicamente de una comunicación cuantitativa espacial proyectada en dos dimensiones, donde la geometría (euclídea y esférica) tiene un papel importantísimo, aunque no exclusivo. En efecto, para aumentar «el realismo» de lo descrito, es decir, para facilitar la lectura espacial, además del sistema de representación (*sistema de proyección geométrica* empleado para definir el «esqueleto» o «armazón» del dibujo), el *estilo gráfico* maneja *variables gráficas y lenguajes no estrictamente gráficos*. Entre las primeras: líneas de valores diferentes, luces y sombras, texturas o colores, por ejemplo, todas de importancia para transmitir con eficacia la idea representada; entre los segundos, acotaciones numérico-textuales como rótulos y leyendas, símbolos o escalas, con frecuencia destinados a ayudar a la comprensión funcional y dimensional. En los dos volúmenes dedicados a la Ilustración, los lenguajes fueron preocupación general en la presentación del segundo; también se dedicó un capítulo específico a la lengua en la centuria. Así, en «Lenguajes de la técnica en tiempos de revoluciones»¹⁰¹ se establecen consideraciones generales sobre la lengua, el dibujo (cartográfico, arquitectónico y de máquinas) y las matemáticas, mientras que en «Consideraciones sobre el léxico “técnico” en el español del siglo XVIII»¹⁰², entre otras cosas, se reflexiona específicamente sobre los diccionarios de voces «técnicas» y sobre una historia del léxico «técnico».

Con estos antecedentes, el presente volumen dedica el primer capítulo al español como lenguaje científico y técnico en el Ochocientos. Partiendo de la formación de tecnicismos, Cecilio Garriga y Francesc Rodríguez abordan un recorrido por las principales ideas enunciadas y los debates habidos al respecto, describiendo la evolución en las dos mitades del siglo. Para ello se argumenta sobre la base de los diccionarios y de los textos, documentando el uso de vocabularios especializados en tres ramas muy significativas de la técnica decimonónica: el ferrocarril, la química y la electricidad. Dado que el XVIII y el XIX son siglos de traducciones, preferentemente desde (o a través) del francés, la incorporación de préstamos será muy relevante en estas centurias, lo que conlleva siempre riesgos. Por ejemplo, en ocasiones se plan-

¹⁰⁰ Nos referimos especialmente a los capítulos «La divulgación técnica: características lingüísticas» (M. J. MANCHO DUQUE, pp. 311-344) y «Sobre técnica e ingeniería: en torno a un *excursus* lexicográfico» (M. SILVA SUÁREZ, pp. 27-75), ambos relativos a la expresión verbal, en ámbitos muy diferentes, y «El lenguaje gráfico: inflexión y pervivencias» (M. SILVA SUÁREZ, pp. 243-310), en M. Silva Suárez (ed.), *Técnica e ingeniería en España*, vol. I: *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular*, 2.ª ed., 2008.

¹⁰¹ M. SILVA SUÁREZ, pp. 7-46, en M. Silva Suárez (ed.), *Técnica e ingeniería en España*, vol. III: *El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal*, Zaragoza, 2005.

¹⁰² P. ÁLVAREZ DE MIRANDA, pp. 263-290, en M. Silva Suárez (ed.), *Técnica e ingeniería en España*, vol. II: *El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación*, Zaragoza, 2005.



0.11. Dictionarios especializados y generales sobre el léxico técnico, ordenados cronológicamente: 1) Vocabulario descriptivo de ferro-carriles (Zaragoza, Imprenta y librería de Roque Gallifa, 1863), escrito por Mariano MATALLANA DEL REY, director de caminos vecinales y canales de riego y jefe de sección de vía y obras en la Compañía del ferrocarril de Zaragoza a Pamplona; 2) Dictionario general de Arquitectura é Ingeniería, que comprende todas las voces y locuciones castellanas, tanto antiguas como modernas, usadas en las diversas artes de la construcción, citas de autoridades, historia, datos prácticos y equivalencias en francés, inglés é italiano, en cinco volúmenes, debido a Pelayo CLAIRAC Y SÁEZ, ingeniero jefe de caminos, canales y puertos (se reproduce la cubierta original para el volumen v, editada en fascículo; el volumen terminó siendo publicado en 1908 en Barcelona, pues el autor murió en 1891); 3) Dictionario Industrial. Artes y oficios de Europa y América, en seis volúmenes (Barcelona, A. Elías y Comp.[®] Editores, 1888-1892), por Carlos CAMPS ARMET, ingeniero industrial que trabajó en la Maquinista Terrestre y Marítima; 4) Dictionario de electricidad y magnetismo y sus aplicaciones á las ciencias, las artes y la industria de J. LEFEVRE (Madrid, De Bailly-Bailliere e Hijos, 1893), traducido y anotado por el ingeniero del Cuerpo de Minas A. DE SAN ROMÁN. De los dos más generales, el de Clairac tiene mayor interés lexicográfico, siendo el de Camps más enciclopédico en su amplia parcela. Para los términos más frecuentes, los repertorios de estos dictionarios se anticipan a las ediciones del DRAE (dictionario normativo) al considerar las incorporaciones.

tearon problemas, como al traducir *horse power* (HP), que es unidad de potencia acuñada por James Watt en 1782 y que, por tanto, no pertenece al sistema métrico decimal (corresponde, aproximadamente, al caballo de vapor, CV). Por desafortunada traducción y posterior abuso del lenguaje, con *caballo de fuerza* se hace frecuentemente referencia al HP (en inglés, *power* significa 'potencia', pero también 'fuerza'); en esa línea se encuentran expresiones como «fuerzas desde [...] caballos en adelante» (v. el pie de la fig. 12.7), y para incrementar el potencial desconcierto, también se leen enunciados como: «6 máquinas de vapor [...] dan un trabajo de 1.100 caballos» (v. el asociado a la fig. 0.7). Desde una perspectiva muy diferente, la lectura de algunos textos decimonónicos puede llevar a confusión, pues existen términos que han ido mutando de significado¹⁰³. En otro orden de ambigüedades léxicas, perteneciente al «argot» de la construcción y costumbre aún vigente, por indiferenciación, a veces también se denomina *viga* a las cerchas, o celosía a estructuras trianguladas de grandes mallas. Estos ejemplos muestran cuestiones relativas al lenguaje que pueden llevar a apreciaciones erróneas o a ambigüedades, de donde parte del interés de su estudio.

Los capítulos segundo al cuarto nos invitan «a ver» el dibujo, la *lingua franca* de la ingeniería y la arquitectura. José Ignacio Muro y Vicente Casals se concentran en la cartografía hispana, partiendo de las iniciativas para elaborar una de base, sobre la que construir las cartografías especializadas. El estudio de las correspondientes a la definición y clasificación de los recursos naturales (minas y montes) antecede a la centrada en la cartografía itineraria y la planimetría para las obras públicas. Finalmente, consideran los planos geométricos de términos municipales y urbanos. Época de impulsos y carencias, en ella flotan fuerzas impelentes generales como la realización de un catastro; sin embargo, en paralelo, diversas corporaciones técnicas (esencialmente los cuerpos de ingenieros civiles de Minas, de Montes, y de Caminos, así como los de ingenieros Militares y Artilleros) emplean criterios propios en sus cartografías específicas. No obstante, en su conjunto, se observa un proceso de confluencia parcial a través de la enseñanza reglada del dibujo y la topografía en las respectivas escuelas de cuerpo, también para los «geómetras» y agrimensores fuera de estos. Técnicamente, la representación de la orografía mediante curvas de nivel y la expresión detallada de nuevas realidades mediante amplios conjuntos de convenciones y símbolos (por ejemplo, en los mapas geológicos) se consolidan en esta centuria. Reduciendo escalas, con la representación de la ciudad como punto de articulación con el capítulo previo, Javier Ortega contempla el dibujo arquitectónico y el destinado a la obra pública. Podría decirse que enfocando el dibujo como «construcción diferida», el material presentado oscila entre la función proyectual (eventualmente, lo venidero) y

¹⁰³ En este sentido, puede considerarse lo antes mencionado (secc. II) con respecto a 'fábrica' (inicialmente, edificio suntuoso), su posterior sinonimia con 'edificio', que a su vez presenta históricamente otras sinonimias (relación que no es de equivalencia, sino de compatibilidad) con 'máquina' o 'ingenio'; finalmente, el concepto básico que prevalece desde finales del XIX.

la fedataria (el registro de lo existente y la eventual intervención sobre el patrimonio), lo que supone una gran variedad de registros gráficos. Dedicamos, además, atención a aspectos instrumentales sobre la producción y edición del dibujo, entre otros a los instrumentos para su trazado (regla, cartabón, plantilla de curvas, compases varios, transportador, etc.) y a los de medición empleados (grafómetros, brújula taquimétrica o nivel de precisión, por ejemplo), esenciales en el levantamiento de planos. El desarrollo de la fotografía dará lugar a la *fotogrametría estereoscópica*, al tiempo que las nuevas técnicas de construcción hacen aparecer un nuevo e interesante tipo de dibujo, el centrado en los detalles constructivos (figs. 0.4 y 3.7), sobre todo cuando abundan intrincados enlaces entre platinas o perfiles férreos. La sistematización del dibujo de máquinas es, reduciendo de nuevo escalas, el tema que analiza Patricia Zulueta, quien apunta la inflexión que supone el cambio desde el dibujo ilustrado al lenguaje preciso, basado en relaciones biunívocas entre significativo y significado, y universal que se lega al siglo xx. En este proceso, el dibujo de máquinas va perdiendo parte de su calidad plástica —de ambición de realismo, «de retrato»— para potenciar la práctica, proceso de simplificación que lleva a un esquema conceptual basado en un entramado de convenciones que hacen posible una lectura inequívoca de lo representado. En suma, aparece como *lenguaje gráfico* universal, a lo que conviene sumar su valor como singular medio de expresión. En general, se puede decir que es época en la que se potencian el empleo del sistema diédrico o las perspectivas axonométricas (por ejemplo, isométrica y caballera), que contempla la reducción de sombras (que pasa por la simple insinuación al emplearse distintos grosores de líneas, hasta su total desaparición) y la progresiva desaparición de técnicas «artísticas» como el lavado¹⁰⁴, o la contención en el uso del color, que a veces solo queda como código, no con fin estético (por ejemplo, diferenciando clases de líneas, resaltando o jerarquizando cortes). En suma, en las diferentes categorías de dibujos ochocentistas se observan incremento de rigor geométrico, empleo de instrumentos progresivamente más sofisticados, densificación de códigos (para incrementar la capacidad expresiva) y ciertos procesos de uniformización que posteriormente darán lugar a los de normalización. Época de transición, en la centuria conviven estas tendencias con el mantenimiento de planteamientos previos.

Los capítulos quinto y sexto reflexionan sobre las matemáticas, disciplina en la que confluyen las funciones de lenguaje cuantitativo formal y de artificio predictivo de indiscutible utilidad, al tiempo que su significativa exigencia académica puede verse también como «filtro social». Esto último, por requerir una preparación muy costosa en tiempo y económicamente onerosa, lo que dificultaba el acceso a estas profesiones, sobre todo a los cuerpos de ingeniería civil del Estado (Caminos, Minas y Montes) de los hijos de las familias que no contaran con una posición económica

¹⁰⁴ El mencionado álbum de dibujo de máquinas que se ofrece en anexo, resultado de unos ejercicios académicos, contiene varios planos lavados.

suficientemente desahogada. En este sentido, Guillermo Lusa, se centra en debates que tuvieron lugar en el ámbito de las ingenierías civiles. La Escuela de Caminos fue pionera en adoptar el nivel instrumental de las matemáticas como «filtro». Debido a su prestigio, marcará una cierta deriva para el resto de instituciones escolares. Un segundo corolario de la situación será visible en el plano educativo, ya que se exigía una manifiesta sobreteorización para el desarrollo profesional esperado; al tiempo, dado su carácter esencialmente instrumental, tampoco formaría profesionales que crearan «ciencia exacta». Con el cambio de siglo, resonará en España el conocido «¡Basta de matemáticas!» de Alois Riedler. En la única ingeniería no corporativa hispana del siglo XIX, la industrial, las matemáticas desempeñarán el papel de fiel en la balanza de la formación, indicando inclinaciones hacia el «teoricismo» o el «practicismo», reflexionando sobre el qué, el cuánto, el cómo o el dónde de las matemáticas en la formación de los futuros ingenieros¹⁰⁵. Tras analizar Lusa otras trayectorias educativas, el capítulo se cierra con una reflexión sobre las matemáticas requeridas por el ingeniero, que penetra en los primeros lustros del siglo XX. Vendrán nuevas olas de debates al respecto, cuestión recidiva, siempre reabierta con cualquier cambio de planes de estudio. El cometido que desempeñan Fernando Veá y M.^a Ángeles Velamazán es el de aproximarnos al multiforme panorama de las matemáticas exigidas en los exámenes de ingreso, en los estudios preparatorios, o, según los planes de estudios, tanto en las academias militares como en las escuelas civiles (especiales o superiores) de ingeniería, o en las universitarias facultades de ciencias. En el ámbito de las ingenierías, el ingreso en las escuelas de los cuerpos estatales gozará inicialmente de un papel más relevante que en las escuelas de industriales y de agrónomos, ambas fundadas a comienzos de la segunda mitad de la centuria, en las que se produjo una mayor interacción con las facultades de cien-

¹⁰⁵ Este tipo de debate es, en cierto modo, semejante al relativo a la preeminencia entre la ciencia y la técnica (v., en particular, la previa sección I.1.2: «Con la máquina de vapor como telón de fondo: Dos visiones sobre la ingeniería y la ciencia»). Personalmente interesado en los métodos formales en la ingeniería, como contrapunto, suelo tener en consideración la categórica afirmación de Thomas Telford (1757-1834), primer presidente de la Institution of Civil Engineers, que afirmaba que los *polytechniciens* franceses «sabían demasiada matemática para ser buenos ingenieros». Mucho más reciente, me resulta muy expresivo lo dicho por Gordon F. Newell en el prefacio de su libro *Applications of Queuing Theory* (Chapman and Hall, 1971): «Queueing theory become very popular, particularly in the late 1950s, but its popularity did not center so much around its applications as around its mathematical aspects [...] The literature grew from 'solutions looking for a problem' rather than from 'problems looking for a solution'. Mathematicians working for their mutual entertainment will discard a problem either if they cannot solve it, or being soluble it is yet trivial. An engineer concerned with the design of a facility cannot discard the problem [...] he must do the best he can. The practical world of queues abounds with problems that cannot be solved elegantly but which must be analyzed nevertheless. The literature on queues abounds with 'exact solutions', 'exact bounds', simulations models, etc.; with almost everything except common sense methods of 'engineering judgment'».

cias¹⁰⁶. En paralelo, el capítulo reconoce los textos principales traducidos o escritos en España para esas formaciones. En particular, se identifican algunas de las obras de relevancia debidas a ingenieros civiles, donde destaca la actividad de José Echegaray, el gran importador de la matemática moderna, o la de ingenieros militares como Mariano Zorraquín o Fernando García San Pedro, y la de diversos artilleros, Francisco Sanchiz y Castillo, Luis Felipe Alix o Diego Ollero, entre otros. Simplificando la idea, la centuria verá un progresivo desplazamiento del protagonismo en la modernización de las matemáticas desde la milicia al ámbito civil. En este último espacio, a cargo de ingenieros, principalmente de caminos y, en las últimas décadas, también de algunos profesores de universidad.

Se cierra esta primera parte con el esbozo, por parte de José Vicente Aznar, del proceso de implantación del *Sistema Métrico Decimal* (SMD), lenguaje pretendidamente universal para los pesos y medidas. Hijo de la Revolución francesa, ello explica la indiferencia británica, por ejemplo. Inserto en la lógica de unificación (paralelo en este sentido, por ejemplo, a la monetaria), de facilitación de la comunicación técnica y científica y del comercio, en España soportará dos grandes dificultades. Una de carácter social y político, pues el SMD llega a ser percibido como un atentado a los poderes locales (depositarios de las unidades tradicionales de la villa o ciudad) por parte de un Estado unificador, con la historia y las tradiciones como argumentos de reacción esgrimidos; otra de carácter industrial, cuando se comprueben las dificultades que tendrán los constructores nacionales de instrumentos para realizar los juegos de patrones secundarios que han de ser distribuidos por el país. Sancionada la Ley de Pesos y Medidas en 1849, el sistema no sería declarado obligatorio hasta que la Restauración estuvo asentada (1880), siendo también bastante lento el proceso de aceptación social, lo que nos introduce decididamente en el siglo xx. Fruto de la ley de 1849 se creará una comisión que, bajo formas cambiantes, tendrá su sede en el Real Conservatorio de Artes hasta 1878. Posteriormente, el Servicio de Pesas y Medidas pasó a depender de la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico¹⁰⁷. El impulso definitivo a la implantación vendrá bajo la autoridad del ingeniero militar Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, director de dicho Instituto y presidente de la *Première Conférence Générale des Poids et Mesures* (París, 1889).

El primer bloque de la segunda parte (caps. 8 a 12), centrado básicamente en la mecánica aplicada, arranca con la consideración de temas relativos a la elasticidad y

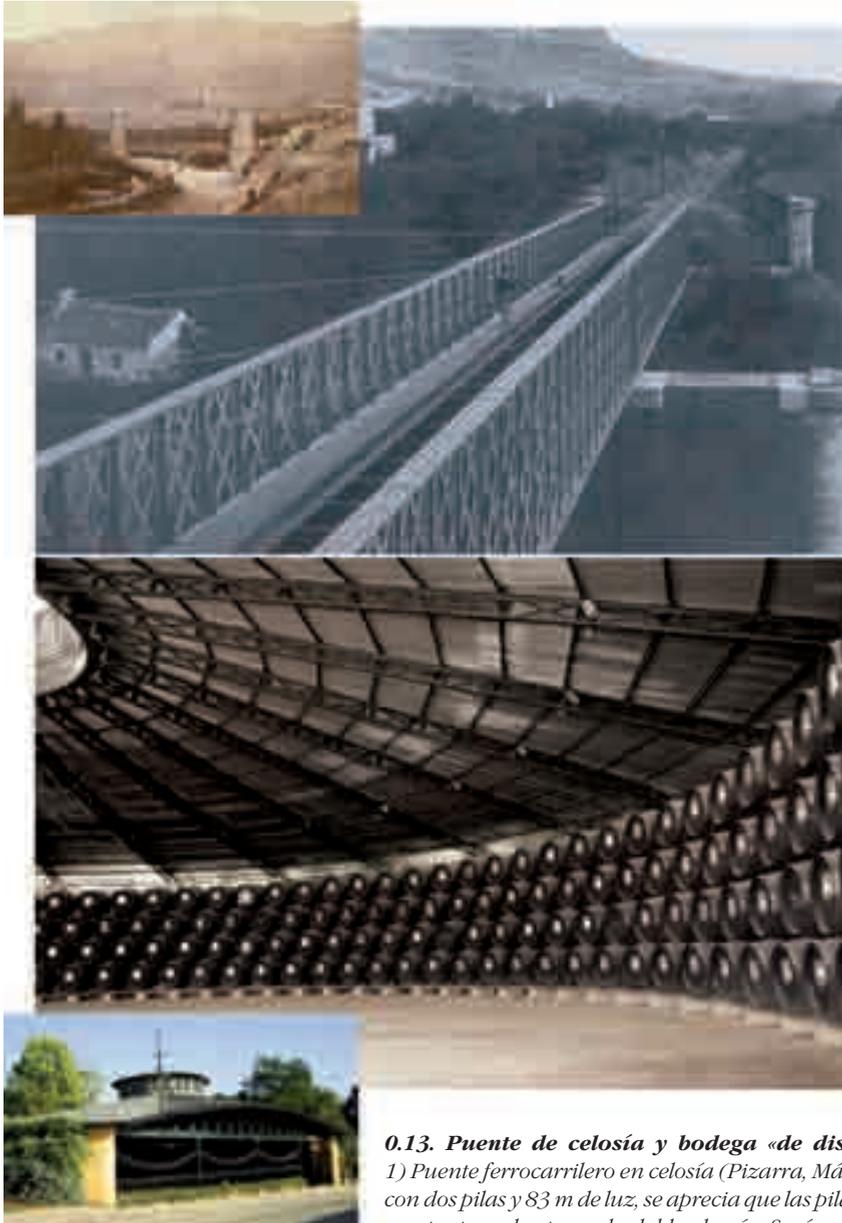
¹⁰⁶ Cuestión tratada en un ámbito más general en la sección IV, «Las escuelas especiales (o superiores) y la universidad: dos mundos débilmente conectados», de la presentación del volumen v de esta colección, *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, 2007, pp. 52-69.

¹⁰⁷ P. J. RAMÓN TEJERO y M. SILVA SUÁREZ: «El Real Conservatorio de Artes (1824-1887), cuerpo facultativo y consultivo auxiliar en el ramo de industria», capítulo 4 del volumen v de esta colección, M. Silva (ed.), 2007, pp. 270-276.



0.12. Exposición con motivo del centenario de la adopción del Sistema Métrico Decimal, 1849-1949 (Fuente: COMISIÓN PERMANENTE DE PESAS Y MEDIDAS: Álbum Conmemorativo de su Primer Centenario, 19 Julio 1849 – 19 Julio 1949, Madrid, 1949): 1) «Salón histórico. Vista de conjunto»; 2) «Metro de platino, de sección triangular (así realizado para reducir costes), construido por Froment, con una inscripción que dice: “Longitud del metro a la temperatura del hielo fundente —París, 1850— Trazado por J. Alfonso”. D. Joaquín Alfonso, Director del Conservatorio de Artes, fue Miembro de la primera Comisión Permanente de Pesas y Medidas. Este metro, en unión del kilogramo H y del litro, de la misma procedencia, fueron los prototipos nacionales al implantarse en España el Sistema Métrico Decimal»; 3) «Kilogramo tipo de España en 1850»; 4) «Litro tipo para España en 1850»; 5) «Vista del Metro prototipo nacional núm. 24 de platino iridiado, distinguiéndose, asimismo, su sección transversal en X en las dos piezas muestras de la fundición de dicho prototipo» (año 1889). Encima, ampliada, la sección de Tresca o en X. Como puede comprobarse, el prototipo se apoya en horizontal sobre dos puntos, los conocidos como «puntos Airy» (simétricos y distanciados de $S = L/\sqrt{3} \approx 0,577L$, donde L es la longitud de la barra), con lo que se consigue que las caras laterales estén paralelas y ortogonales con respecto a la línea horizontal de apoyo, pudiéndose así obtener una medición más precisa).

resistencia de materiales, y al cálculo de estructuras. Alberto Fraile y Enrique Alarcón los contemplan desde la consideración exclusiva de modelos abstractos, planteando con claridad que los nuevos materiales que provee la industria motivan innovaciones tipológicas, en el marco de un replanteamiento de las ideas sobre seguridad estructural, métodos constructivos y técnicas de cálculo. Con ello se marca el tránsito del «arte de la construcción», basado en la experiencia, a un saber hacer auxiliado por el importante progreso de las ciencias de la ingeniería, estableciéndose un difícil pero enriquecedor equilibrio entre ciencia y arte de la construcción. Tras un panorama de la herencia y los desarrollos paralelos en Europa, Fraile y Alarcón se centran en el hacer teórico, reconociendo «sensación de melancolía cuando se estudia la posición española en la evolución de la mecánica de medios continuos y la teoría de estructuras en el siglo XIX», aserto que completan con el reconocimiento de que, en general, siempre hubo personas bien informadas, que estaban al corriente de la cultura estructural en la época. Con los oportunos matices y excepciones, este tipo de conclusión reaparecerá con frecuencia en muy diversos ámbitos, siempre que la reflexión se centre en las contribuciones al saber científico y técnico, no sobre el patrimonio generado, sea documental (dibujos, textos, etc.) o físico (construcciones, máquinas, etc.). Así, al considerar la teoría de máquinas y mecanismos (capítulo 11), Juan Ignacio Cuadrado y Emilio Bautista identifican la existencia de un grupo de profesionales que, «con un saber claramente actualizado, contribuyeron a la divulgación en España de lo que se estaba haciendo en otros países», siendo clara su conclusión al respecto: «si bien España no tuvo un papel protagonista, tampoco fue ajena a la incorporación y a la propagación de los nuevos conocimientos en la formación de los ingenieros». Análogamente, el estudio de los motores de combustión (capítulo 12) permite afirmar que «en el ámbito académico hay una asimilación y un seguimiento dignos de lo que se produce en los países líderes de la industrialización». A similares conclusiones llega Stefan Pohl al estudiar la entrada de la termodinámica en España (capítulo 13), que plantea que la «importación» de la nueva disciplina se hizo, principalmente, de la mano de los ingenieros José Echegaray (camino), y Gumersindo de Vicuña y Francisco de Rojas (industriales); finalmente, al presentar la introducción de la técnica eléctrica (capítulo 14), Joan Carles Alayo y Jesús Sánchez Miñana reconocen que, «si bien los españoles no contribuyeron al progreso de la ciencia eléctrica, la rápida importación de las aplicaciones de la electricidad que protagonizaron fue tan importante como en otros países». Además, constatan «la actuación nada desdeñable de individualidades innovadoras, pertenecientes a [diferentes] profesiones», algo que, por ejemplo, se podría repetir, aunque con muy diversos matices, en el caso de los motores térmicos. En efecto, el análisis del subsector de las máquinas de combustión a través del sistema nacional de patentes (capítulo 12), entre otras fuentes de información, nos dice que, en «el mundo de la invención-innovación-construcción de las máquinas térmicas, el panorama es también de seguimiento, pero es preciso apuntar una debilidad casi crónica». En este último aspecto hay que aclarar que los avances sectoriales dependen de otros muchos factores externos, como son el tamaño y la madurez del mercado, la dis-



0.13. Puente de celosía y bodega «de diseño»:

1) Puente ferrocarrilero en celosía (Pizarra, Málaga), con dos pilas y 83 m de luz, se aprecia que las pilas fueron preparadas para desdoblarse la vía. Según A. SANTIAGO RAMOS, I. BONILLA ESTÉBANEZ y A. GUZMÁN VALDIVIA (Cien años de Historia de las fábricas malagueñas, 1830-1930, Málaga, Acento Andaluz, 2001, p. 91), fue fabricado en la ferrería de La Constancia, propiedad de la familia Heredia (Málaga) en 1867, de donde podría tratarse del primer puente metálico de celosía de construcción hispana (la fotografía superior izq. es de J. Spreafico, de una colección que se suele datar h. 1863); 2) Real Bodega La Concha de González-Byass (Jerez), es una bodega decimonónica «de diseño», que fue especialmente pensada como espacio de representación. Diseñada por el ingeniero británico Joseph Loogan (1870), fue construida por la empresa sevillana Portilla, White y Cía., que, especializada en la construcción de motores, hubo de diversificar su actividad para sobrevivir, particularmente tras la crisis económica de 1867.

TIAGO RAMOS, I. BONILLA ESTÉBANEZ y A. GUZMÁN VALDIVIA (Cien años de Historia de las fábricas malagueñas, 1830-1930, Málaga, Acento Andaluz, 2001, p. 91), fue fabricado en la ferrería de La Constancia, propiedad de la familia Heredia (Málaga) en 1867, de donde podría tratarse del primer puente metálico de celosía de construcción hispana (la fotografía superior izq. es de J. Spreafico, de una colección que se suele datar h. 1863); 2) Real Bodega La Concha de González-Byass (Jerez), es una bodega decimonónica «de diseño», que fue especialmente pensada como espacio de representación. Diseñada por el ingeniero británico Joseph Loogan (1870), fue construida por la empresa sevillana Portilla, White y Cía., que, especializada en la construcción de motores, hubo de diversificar su actividad para sobrevivir, particularmente tras la crisis económica de 1867.



0.14. Puente de Palacio sobre el Gran Neva (San Petersburgo): Proyecto premiado en 1904, en un concurso internacional convocado dos años antes, para construir un puente monumental y móvil, frente al palacio del Zar en la entonces capital de Rusia. El diseño se debe a Magín Cornet y Masriera, ingeniero industrial por Barcelona (1889), entonces director del Departamento de Puentes de La MTM. Con más de 200 m de longitud y cinco ojos (uno móvil), en 1909 el Municipio de San Petersburgo emprendió su construcción, cuando el diseñador ya había fallecido en 1906.

ponibilidad de capitales y recursos materiales (carbón, etc.) o la política de aranceles, por ejemplo.

Los capítulos 9 y 10 se desarrollan desde una perspectiva distinta. En el primero, Javier Manterola enfatiza la visión del diseñador de estructuras, tomando como referente diversos edificios emblemáticos (estaciones de ferrocarril, mercados, invernaderos para exposiciones y faros), lamentablemente algunos desaparecidos. Los ingredientes básicos de partida son los nuevos materiales resistentes (hierro, acero y vidrio) proporcionados por la industria, es decir, artificiales, y los nuevos conocimientos en las ciencias de la ingeniería, que se concretizan, en particular, en técnicas para el cálculo de estructuras. La consecuencia principal es la apertura de «un mundo formal nuevo, inimaginable a los ojos clásicos», la evolución hacia una nueva estética, sabiendo que «las estéticas nunca son previas, [que] son el resultado, con el tiempo, de ver, de comparar, de calificar, de comprender lo construido [...] Y se va creando una estética nueva, la estética del hierro y el acero, total y absolutamente distinta a la de la piedra». En el segundo caso, tomando los puentes como objeto de análisis, la visión de diseñador se complementa con un interés taxonómico y patrimonial en el que queda dibujado un amplio panorama de lo construido en nuestro solar. Leonardo Fernández Troyano y Amaya Sáenz parten del reconocimiento de que «muchos de ellos fueron proyectados y construidos por ingenieros y compañías extranjeras», pero a medida que el siglo avanza, los

ingenieros españoles —básicamente de caminos, también industriales— incrementarán progresivamente su participación en los diseños y construcciones. Al tiempo, contadas empresas hispanas, donde sobresale La MTM (Barcelona) en lo relativo a los puentes metálicos, terminarán teniendo una significativa actividad en su construcción y montaje¹⁰⁸. La amplitud de la perspectiva que nos ofrecen muestra realizaciones basadas en muy diversos materiales y técnicas. «Si el siglo XIX se caracteriza fundamentalmente por el desarrollo de la mayoría de las técnicas de los puentes modernos, colgantes y metálicos, y por la aparición del hormigón armado, ello no quiere decir que desaparecieran las técnicas y los materiales utilizados hasta entonces, la piedra y la madera», conjunto por el que empiezan el recorrido. Posteriormente, analizan los puentes «colgados» (colgantes), en los que se identifican diversas generaciones. Los primeros tendrán predominio de la madera, siendo la ligereza una de sus grandes ventajas, a la vez que su talón de Aquiles. En efecto, en ellos «la relación peso propio/sobrecarga es la más pequeña de todos los tipos de puentes», lo que los hacía especialmente sensibles a los aumentos de sobrecargas, frágiles en suma. Termina el capítulo centrado en los puentes metálicos, primero en arco (de fundición y, sobre todo, de tipo *bow-string*, solución con la que se sustituyeron muchos puentes colgantes), finalmente en una gran variedad de puentes viga (en celosía o grandes mallas trianguladas).

Si estos dos últimos capítulos se centran en estructuras estáticas o hiperestáticas (de edificios o puentes), el 11 y el 12 tienen a la cinemática y a la dinámica por referente principal, sabiendo que el segundo considera a los motores de combustión, agente catalizador esencial en el nacimiento de una nueva disciplina de la física: la termodinámica. Sobre ella se volverá específicamente en el siguiente bloque (cap. 13). Dado que ya se ha aludido a algunas conclusiones sacadas de estos capítulos, procede limitarnos a situar su «campo de juego».

Los profesores Cuadrado y Bautista (cap. 12) se centran primero en conceptualizar la disciplina para, a continuación, «identificar los hitos fundamentales y los personajes principales asociados» al desarrollo de la teoría de máquinas y mecanismos, «nueva rama del saber, que nace como ciencia de la ingeniería, con la utilidad como objetivo principal». En un segundo tiempo abordan «los procesos de difusión de dicho conocimiento en nuestro país», que contemplan principalmente a través de las contribuciones —de variable alcance— de siete «protagonistas», tres de ellos en la esfera de las enseñanzas de ingeniería industrial (M. M.^a de Azofra, C. S. Montesino y F. Arau), dos artilleros (J. de Odriozola y R. Aranaz), un ingeniero militar (N. Valdés) y otro de caminos (M. Martínez de Campos, a cuyas ideas da forma de apuntes escolares V. Garcini). Todo ello sin olvidar que el *Essai sur la composition des machines* (París, L'Imprimerie Imperiale, 1808) de J. M.^a Lanz y A. Betancourt, situado en el origen

¹⁰⁸ Por ejemplo, en 1888 «llevaba construidos “La Maquinista” más de cincuenta puentes, de una longitud total superior a seis kilómetros y medio, con más de 200 tramos» (A. del CASTILLO, *La Maquinista Terrestre y Marítima. Personaje Histórico, 1855-1955*, Barcelona, 1955, p. 248).

de la Cinemática, «constituye la única aportación española relevante a la nueva rama del saber mas allá de nuestras fronteras en el XIX». El capítulo 13, desde sus comienzos doble en intención, finalmente también doble en extensión¹⁰⁹, articulado sobre libros e innovación, ofrece un intento de perspectiva dual sobre los motores de combustión en el Ochocientos hispano. Se parte de que «una fuente importantísima para conocer la asimilación y el desarrollo de cualquier disciplina la constituye lo que las prensas nos dejaron en forma de patrimonio bibliográfico. Pero no es fácil, quizá sea hasta improcedente, delimitar la historia de la técnica sin recurrir a las visiones complementarias que se ofrecen desde la historia industrial», en particular aproximándonos al «¿qué ocurre en el ámbito de la innovación industrial?». En otros términos, en esa compleja interacción entre «inventores y constructores», entre el reconocimiento intelectual a las innovaciones y su explotación empresarial. Tras un análisis de la literatura generada, reducida en volumen, pero variada e interesante, y digno testigo del seguimiento de lo que se desarrolla en los países líderes de la Revolución Industrial, en la segunda parte se aborda una visión parcialmente condicionada por los registros hispanos en el sistema de patentes. Los libros alumbrados desde la Marina tienen el enorme interés de estar escritos por auténticos concededores, con frecuencia «sufridores», de esas complejas máquinas; el conjunto de los textos en los que se aborda la relación entre máquinas térmicas y termodinámica es el más pequeño cuantitativamente, sobresaliendo la *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y de gas con arreglo a la termodinámica*, del ingeniero industrial Gumersindo de Vicuña (Madrid, 1872). «Prácticamente no hay obra escrita por constructores hispanos, para empezar porque estos fueron relativamente pocos, y modesto su nivel de innovación», pero en algún tema se observa coetaneidad con lo publicado como novedad en Europa. Así ocurre con la monografía sobre *Explosiones de generadores de vapor* (Barcelona, 1895), premiada en un concurso convocado por la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona en 1893. Por otro lado, se puede hablar de un uso muy limitado del sistema de patentes por el sector, comprobándose la existencia de otros mecanismos tradicionales y complementarios en la incorporación y desarrollo del saber hacer. Entre estos, los acuerdos corporativos y la investigación técnica en el marco de las empresas, ámbito en el que se ha detectado la existencia de modestos constructores que, en parte, basaron su hacer en la protección con patentes de invención, que, si bien lejos de poderlas catalogar de innovaciones «radicales», más bien «incrementales aditivas», les ofrecieron ventajas competitivas que reivindicaban hasta en su publicidad.

El segundo bloque de la segunda parte (caps. 13 y 14), como se ha avanzado, está relacionado con dos ramas sustantivas de la física que adquieren la mayoría de edad durante el Ochocientos, la termodinámica y la electricidad. Las perspectivas con las que se presentan son bastante diferentes. En tanto que nueva disciplina científica desde la

¹⁰⁹ Decisión tomada ante la perspectiva de la ausencia de dos capítulos inicialmente programados, afortunadamente uno recuperado con el último suspiro estival.

física matemática, Stefan Pohl aborda la primera, mientras que Joan Carles Alayo y Jesús Sánchez Miñana nos acercan a la introducción de la técnica eléctrica. Entre otras cosas, el primero de estos sirve como complemento a lo que fue el desarrollo de las máquinas térmicas, madurado en ausencia de una teoría propia, construida *a posteriori* (además, el edificio teórico cuantificará en términos relativamente lejanos de lo observado en la realidad, sobre los ingenios contruidos). De indiscutible valor epistemológico, mucho más allá de las máquinas térmicas, a las que ofrece una mejora conceptual de la comprensión del funcionamiento de sus ciclos, abriendo potencialidades para su optimización, con la termodinámica «la física había logrado un gran avance unificador en la medida que los diferentes fenómenos de la naturaleza se empezaban a entender como el resultado de un único hecho mecánico», al tiempo que introducía la noción de irreversibilidad, la denominada «flecha del tiempo». A través de los textos de los ingenieros José Echegaray, Gumersindo Vicuña y Francisco Rojas se explora una definición particular de la disciplina, en la que «las características epistemológicas y ontológicas definidas [...] en torno a la termodinámica demostraron tener particularidades locales». Sus textos «son productos que nos informan de un quehacer científico local en un contexto cultural determinado y dentro de unas estrategias específicas», entre ellas el «lograr la definición y consolidación institucional de la física teórica en las universidades españolas». En suma, lo que transmitían «Vicuña, Echegaray y Rojas era la ecuación que igualaba progreso científico, y también económico, con una “física moderna” caracterizada por un cuerpo unificado de conocimiento y abordada matemáticamente».

En perspectiva radicalmente diferente, tomando como referencia el desarrollo de dispositivos y aparatos aplicables a diversos usos, partiendo del desinterés sobre estos aspectos de los cultivadores de la ciencia eléctrica, «el estudio de la introducción de la técnica eléctrica en el siglo XIX español pone de manifiesto la actuación nada desdeñable de individualidades innovadoras, pertenecientes a [muy diversas] profesiones». Desde la constatación de la «magritud» de las contribuciones hispanas al desarrollo de la ciencia eléctrica, la asimilación de su técnica, la de la «industria científica», como se la denominaba, fue muy rápida, aunque ello no cuajó en un sector industrial potente. Adoptando un orden cronológico de los tipos de aplicaciones más sobresalientes, el capítulo considera primero la electroterapia, la galvanoplastia y las voladuras, para abordar después los problemas derivados de la iluminación. Entre estos la producción con arcos voltaicos, pasando por los ingenios rotatorios ligados a la generación de electricidad, hasta el problema de la «división de la luz», donde se llegaron a proponer, demostrar y celebrar sistemas ópticos claramente encumbrantes a nuestros ojos. La constitución de «fábricas de luz» y la extensión de la técnica en medios urbanos, esencialmente, preceden a consideraciones sobre el saber hacer a finales de la centuria, donde sobresale la observación de la reversibilidad de los generadores de corriente continua rotatorios, es decir, la obtención de los primeros motores eléctricos.

A modo de ilustración de la rapidez en el seguimiento de las novedades técnicas y de la innovación en España pueden apuntarse, por ejemplo, datos como los siguien-

tes: Si la «presentación en sociedad» de la dinamo se produce en la Exposición Universal de Viena de 1873 (Zenobe Gramme la inventó en 1871), en 1876 las construyó Dalmau e Hijo en Barcelona. Si el transformador eléctrico es invención de 1882 (del francés Lucien Gaulard y del inglés John D. Gibbs, que lo denominaban «generador secundario»), en 1886 Planas, Flaquer y Cía. (Gerona), en contacto con Ganz & Co. (Budapest), introdujo la distribución en corriente alterna monofásica en España, en la capital gerundense. Finalmente, con el nuevo siglo, ante la generalización de la demanda de energía eléctrica, se comienzan a realizar instalaciones desde un nuevo concepto: lejos de los núcleos consumidores, sin satisfacer una demanda concreta, se aprovecha el potencial hidráulico de muy diversos saltos. La transmisión en alterna a alta tensión era el medio de obtener rendimientos razonables; de hecho, el saber hacer correspondiente, que escapa a los laboratorios, se conforma con el desarrollo de los prototipos de este tipo de líneas desde la década previa. Como concluyen los autores, «los técnicos eléctricos españoles no deben ser vistos con menor capacidad que sus homólogos alemanes o franceses, y el retraso industrial en este sector no fue tan grave como en otros por la sencilla razón de que el impulso partió desde dentro del país, con gran acierto técnico, aunque con menor acierto financiero».

El tercer y último bloque de la segunda parte (caps. 15 y 16) pone los acentos en «la construcción de los espacios industriales» y en la «teoría y prácticas en la construcción de la ciudad burguesa». En el primero de ellos, centrada exclusivamente en Barcelona, desde la geografía e historia urbana, Mercedes Tatjer aúna perspectivas como las redes territoriales, el paisaje industrial o las tipologías arquitectónicas más frecuentes, para terminar con la consideración de los ingenieros en las fábricas. Como afirma la autora, en este último punto se presenta «la actuación de los ingenieros desde una óptica hasta ahora poco tratada». Podemos considerar este apunte desde términos ya avanzados: la fábrica es mucho más que los edificios, que son artefactos contenedores de las instalaciones y las máquinas con los que se realizan los procesos. Ciertamente, en su diseño arquitectónico y subsiguiente construcción intervienen maestros de obras, arquitectos e ingenieros, pero ¿quien se ocupa de la esencia de su existir, de que funcionen? Entre los temas que inmediatamente surgen están «la organización y la dirección técnica de los espacios fabriles» (proceso técnico y organizativo) y, por su singular interés en el contexto de las revoluciones industriales, los ingenieros responsables de «la instalación de [los] sistemas energéticos». Este último aspecto es crucial no solo en términos de costes, buscando rendimientos optimizados, sino también por cuestiones de seguridad, pues, como es bien sabido, las calderas para alimentar en vapor el motor por antonomasia de la Revolución Industrial a lo largo de todo el Ochocientos, pero no solo, eran «bombas en potencia», siendo innumerables las explosiones acaecidas. Por ello, los ayuntamientos exigían proyectos con garantía técnica, firmados por ingenieros. Un esfuerzo especial se ha realizado en este capítulo para introducir ilustraciones relevantes sobre «algunos ejemplos poco conocidos o divulgados de construcciones y empresas fabriles, unas desaparecidas y otras todavía presentes en el paisaje de la ciudad de Barcelona». Con cierta sistematicidad, se ha buscado incorporar planos de las plantas, con



0.15. Naves y pisos, en el membrete del conglomerado empresarial que puso en marcha Narciso Bonaplata (1807-1869) en Sevilla: Se anuncian la Fundición de San Antonio (hierro y cobre) y la Fábrica de Máquinas de Vapor, Hidráulicas, Prensas, Ferro-carriles y Ornato, a las que corresponden las naves, y la Fábrica de Hilados de Estambres de todos colores. Hilos finos y bastos, ubicada en el edificio de tres pisos y en el trasero (de dos pisos). En nombre de «Bonaplata Hermanos», Narciso se encargó de montar y dirigir la fundición que arrancó en 1840, habiendo estado ubicada cerca de la confluencia de las calles de Torneo y de San Vicente. De su exclusiva propiedad a partir de 1841, en 1850 realizó las piezas metálicas del puente de Triana, lo que se proclama orgullosamente en el centro. Hasta la creación de Hermanos Portilla y White (1857) fue la empresa más importante del sector de Sevilla; en 1866 la fundición ya aparece con la razón social «Pérez Hermanos». La hilatura de lana contaría en 1861 con 30 cardas, 810 husos y un pequeño tinte de algodón. Narciso Bonaplata y José María de Ybarra, un catalán y un vasco, fueron los impulsores de un certamen ganadero, la Feria de Abril de Sevilla (1847). (Fuente: Jordi NADAL: «Los Bonaplata: tres generaciones de industriales en la España del siglo XIX», Revista de Historia Económica, I (1), 1983, pp. 79-95; il.: cedida por Julián SOBRINO).

lo que, al menos muy en primera instancia, se pueden visualizar las relaciones entre procesos productivos y organizaciones espaciales. Tanto en la dirección general como en la técnica, o en la instalación de los sistemas energéticos, en el último tercio de la centuria se constata la presencia de ingenieros formados en la Escuela Industrial de Barcelona, ventaja competitiva que alcanzó principalmente a la Ciudad Condal, también al resto del Principado, gracias al clarividente apoyo que la Escuela recibió de la Diputación y del Ayuntamiento barceloneses. Como se concluye, el «conocimiento de paisajes y estructuras industriales desaparecidos o en vías de desaparición [...] es actualmente importante e ineludible, puesto que nos encontramos ante las últimas posibilidades de mantener una parte sustancial del patrimonio, el legado y la cultura técnica de las dos revoluciones industriales decimonónicas, y de realizar su reconstrucción».

Si la fábrica vive/sufre una espectacular mutación en el Ochocientos, otro tanto se puede decir de la ciudad, hecho técnico esencial en el devenir de la Humanidad, que se moldeará bajo los dictados de la burguesía. En este sentido, Josefina Gómez de

Mendoza destaca «la precocidad de la teoría urbanística en España», recogiendo que, si «el siglo xx político se habría retrasado hasta 1914, el urbanístico habría empezado, sin duda, con la publicación en 1859 de la *Teoría general de la urbanización*» de Ildelfonso Cerdá. Partiendo de las migraciones del campo a la ciudad, ya importantes a mediados de la centuria, y de la nueva ideología y aspiraciones de la burguesía, la ciudad pasará a ser vista como un espacio común donde, frente a un concepto derivado por aglomeración de lo edificado, se adopta el «reconocimiento del tráfico como prioridad». En cierto modo, la funcionalidad toma el relevo a planteamientos más esteticistas o historicistas. En suma, se puede hablar del «triumfo de los proyectos de ingenieros sobre los más arquitectónicos». Por consiguiente, los técnicos habrán de «facilitar la movilidad, la accesibilidad y la conectividad», aunque no solo. Pero las tramas históricas urbanas no eran compatibles con las necesidades de circulación e higiene. De ahí dos tipos básicos de actuaciones complementarias que a veces se vieron como antagonistas: las *reformas* de los cascos antiguos (que suprimen, transforman o prolongan) y los *ensanches* (que, normalmente, aumentan de forma sustancial y ordenada el espacio disponible). Además, se contemplarán, más o menos ordenadamente, actuaciones para «el “saneamiento” entendido como las obras que se llevan a cabo para el desecamiento de terrenos, la supresión de habitaciones o barrios insalubres, la construcción de alcantarillas y la ventilación de manzanas o cuarteles», o «la “mejora” u obras de ensanche o rectificación de calles y cualesquiera otras que se dirijan a aumentar y facilitar el tránsito público en el interior de las poblaciones y a su desahogo, seguridad y embellecimiento». Estos cuatro tipos de actuaciones estructuraban el proyecto de ley general de Posada Herrera (1861), que, aunque no fuera aprobado, refleja el espíritu de tratamiento integrado de la problemática en la nueva ciudad decimonónica. El Plan Cerdá busca la satisfacción de criterios como «la habitabilidad, la equidad, la vialidad y la conectividad». En este sentido, «el tamaño regular y la doble ventilación de la más pura manzana cerdiana (por la calle y por el patio interior) garantizaban la ciudad igualitaria, salubre e higiénica». Pero pese al atractivo conceptual de los ensanches, la reforma de los cascos antiguos era una necesidad con carácter de urgencia, pues los problemas de seguridad y salubridad eran acuciantes. Demolición-reedificación y ensanches, junto con programas para dotar a las urbes de infraestructuras, equipamientos y servicios públicos¹¹⁰, centrarán la propuesta teórica

¹¹⁰ Alumbrado, suministro regular de agua potable, alcantarillado, espacios abiertos y saludables, medios de transporte rápido como tranvías, escuelas, mercados, mataderos, cementerios, teatros, cárceles, etc. Cambiando la escala de habitabilidad, el hogar familiar gozará, para la burguesía, de análoga transformación. Así, la higiene y el confort provocarán cambios sustanciales en temas como el alumbrado, la ventilación, la calefacción, los aparatos sanitarios cerámicos o la cocina «económica», al tiempo que se realizan instalaciones fijas de agua fría y caliente, de evacuación de desechos, etc. Sobre los reflejos pictóricos de estas cuestiones, véase M. SILVA SUÁREZ y J. P. LORENTE LORENTE: «Técnica e ingeniería en la pintura española ochocentista: de la modernidad, presencias y ausencias», capítulo 9 del volumen iv, en particular la sección II.2: «Del paisaje urbano, el fabril y el doméstico», pp. 567-586.

al tiempo que se destruirán las viejas murallas, antaño protección y por ende símbolo de la ciudad. Se perseguirá mejorar la conectividad y abrir «mayores espacios a la acción vivificadora del aire y de la luz». En cualquier caso, la cruda realidad (problemas políticos, feroz especulación con el suelo, etc.) hablará de la distancia entre lo dicho y lo hecho, en particular en lo concerniente a las condiciones sanitarias y de habitabilidad.

Manteniendo las pautas establecidas en la colección, se ha intentado cuidar la edición y complementar los textos con un amplio repertorio de ilustraciones, muchas recuperadas de inmerecidos olvidos. Aquí su misión es estrictamente documental e instructiva, nunca exclusivamente decorativa. Nuestro agradecimiento, por ello, a las múltiples instituciones depositarias de los documentos que contienen el material reproducido. Queremos resaltar la singular colaboración recibida de los responsables de las bibliotecas de las escuelas de Ingenieros Industriales de las universidades politécnicas de Barcelona y de Madrid, así como de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de esta última. En este mismo sentido, manifestamos nuestra gratitud al Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, fuente esencial para comprender en una parte importante el devenir inventivo hispano en el Ocho-cientos, así como al Centro Español de Metrología, que nos abrió las puertas de su interesantísimo museo histórico. Por otro lado, es de justicia mencionar nuestro reconocimiento al Gobierno de Aragón, por su constante apoyo desde el primer volumen, editado allá en 2004, y a la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT), por una colaboración enraizada ya desde el volumen iv. Finalmente, me siento impelido a reconocer mi deuda personal con María Regina, mi esposa, con diferencia la más importante que jamás he contraído. Disciplinada alumna y colaboradora en todos los cursos preparatorios realizados, ha contribuido a la mejora de cuantos volúmenes han aparecido, siendo, además, incontables las horas robadas.

Manuel Silva
Universidad de Zaragoza
Real Academia de Ingeniería

1

Lengua, ciencia y técnica

Cecilio Garriga Escribano y Francesc Rodríguez Ortiz
Universitat Autònoma de Barcelona

La historia del lenguaje científico y técnico muestra la complejidad del entramado de lenguas que se ha articulado en la transmisión de ese conocimiento, desde las primeras civilizaciones del mundo antiguo hasta las épocas más recientes. Así, el proceso se manifiesta tanto en la lengua propia de la cultura que inicia y cultiva ese saber como en las de los pueblos que lo heredan o retoman, para llegar, después, a las utilizadas en las múltiples traducciones y en su difusión. Los factores históricos, las situaciones de contacto entre lenguas o de internacionalización de las mismas han condicionado dicho proceso. Son múltiples los ejemplos en distintos campos del saber científico y técnico. Así se observa a través de figuras como Antoine Laurent de Lavoisier, cuyo nuevo método de nomenclatura química a finales del Setecientos confirmó que el establecimiento de un sistema de términos en torno a una ciencia o una nomenclatura refleja, en definitiva, el sistema de conceptos de esta ciencia y la propia concepción que existe sobre ella. Varios momentos de la historia natural han reflejado este mismo hecho: la relación entre clasificación y nomenclatura. Así ocurre con la zoología y la botánica desde el siglo xvi, con la biología posteriormente o, con mayores dificultades, con la nomenclatura de las patologías médicas.

En este capítulo se pretende trazar el estado de la cuestión en relación con el español como lengua de la ciencia y de la técnica en el Ochocientos. Para ello se hace un recorrido por las principales ideas establecidas en esa centuria, se estudian las claves fundamentales del debate sobre la lengua de la ciencia que tienen sus raíces en el siglo ilustrado, detalladamente expuesto en el volumen II de esta obra por Álvarez de Miranda, y se describe la evolución del español en las dos mitades del xix. Para ello se atenderá al papel desarrollado por la Real Academia Española, por los diccionarios generales y especializados que dan fe de la presencia del léxico científico y técnico en el español, y por los propios textos. Se documenta el uso de ese vocabulario en varias de las ramas más significativas en el siglo xix.

I

**IDEAS ACERCA DE LA LENGUA DE LA CIENCIA Y DE LA TÉCNICA:
LA FORMACIÓN DE LOS TECNICISMOS**

I.1. Las ideas sobre la lengua de la ciencia

Las ideas sobre la lengua de la ciencia en el Ochocientos español se establecen en la segunda mitad del siglo XVIII, momento en el que se produce una concienciación que lleva a considerar las lenguas como un instrumento fundamental para el desarrollo de la ciencia. Los conceptos de universalidad y precisión, como condiciones necesarias para la lengua de la ciencia, van de la mano de la atención al propio discurso, que se modulará en función del destinatario: no es lo mismo dirigirse a artesanos que a estudiantes de esa disciplina o a otros científicos en un discurso académico. Por otro lado, la idea de la escasez de voces de la ciencia y de la técnica en español también toma cuerpo en este período, como explica P. ÁLVAREZ DE MIRANDA (2005), en el volumen II de esta obra. Todas estas ideas se repiten una y otra vez en los textos científicos de los siglos XVIII y XIX, en comentarios a pie de página, en notas de los traductores, o en las reflexiones que los propios científicos recogen en los prólogos de los tratados y manuales, como ya hemos estudiado en C. GARRIGA, 2004.

I.2. La formación de los tecnicismos

En todas las ideas acerca de la lengua de la ciencia y de la técnica mencionadas subyace el concepto del léxico, de las palabras con las que se expresa la ciencia. En efecto, el hallazgo de nuevos conceptos, el descubrimiento de nuevas teorías y la invención de nuevos aparatos requieren de palabras para expresarlos.

Las lenguas disponen de mecanismos para proporcionar nuevas palabras que expresen estos nuevos conceptos. No es una cualidad de determinadas lenguas «de ciencia», «de cultura», sino de todas las lenguas. Para el español se dispone de diversos estudios en los que se establece cuáles son estos mecanismos¹.

Pero para entender cómo se forman esos vocablos en el español del siglo XIX hay que tener en cuenta tres aspectos fundamentales sobre la lengua de la ciencia y de la técnica:

- en ese momento la referencia es el francés, desde el cual llegan mayoritariamente las palabras al español;
- aspira, como se ha comentado, a ser universal, y echa mano de unos mismos procedimientos, que consisten, fundamentalmente, en acudir a las raíces griegas y latinas; y
- utiliza unos métodos para la formación de términos nuevos que no son demasiado diferentes de los que usa para la lengua común, pero que conviene tener en cuenta.

¹ Por ejemplo, sería el caso de los estudios de M. T. CABRÉ, 1993, pp. 170 y ss.; G. CLAVERÍA y J. TORRUELLA, 1993; B. M. GUTIÉRREZ RODILLA, 1998, pp. 108-180; V. VIVANCO, 2006, pp. 75-110; etc.

Atendiendo a estos aspectos, y siempre en el marco de la ciencia y de la técnica del Ochocientos, cabe plantearse cómo reacciona la lengua cuando tiene que nombrar un nuevo concepto. Hay diversos sistemas²: *a*) creación de un término nuevo, *b*) ampliación del significado de uno ya existente, *c*) préstamo de un término de otra lengua.

I.2.1. Creación de un término nuevo

Uno de los mecanismos más conocidos para la creación de términos científicos y técnicos es acudir al latín y al griego, sistema que aparece con fuerza en el siglo XVIII³. No hay que olvidar que el latín seguía siendo la lengua de muchos textos científicos y técnicos, y que era aún la lengua en algunos ámbitos académicos. Así, cuando Lavoisier y sus colaboradores tienen que hallar nuevos términos para algunos elementos químicos desconocidos hasta entonces echan mano del griego. Véase cómo lo explica, por ejemplo, en el caso del *oxígeno*:

Hemos visto que el ayre de la atmosfera se compone principalmente de dos fluidos aeriformes ó gases: uno respirable, en que pueden vivir los animales, calcinarse los metales, y arder los cuerpos combustibles; y otro con propiedades del todo opuestas, como el no poderse respirar por los animales, ni mantenerse la combustion &c. A la base de la parte respirable del ayre le hemos dado el nombre de *oxígeno*, derivándole de dos palabras griegas οξυς, ácido y γεινομας, yo engendro; porque en efecto una de las propiedades mas generales de esta base es formar ácidos, combinándose con la mayor parte de las sustancias⁴.

El principio que se seguía era buscar aquellas palabras latinas o griegas que expresasen el significado que se quería representar, que podía hacer referencia a las propiedades, a la forma, a alguna característica... Esta motivación del término respecto a su significado podía crear problemas, como ocurrió con el propio *oxígeno* al descubrirse que no solo estaba presente en los ácidos, es decir, que no era 'generador de ácidos'. Ello dio lugar a cierta polémica con diversos químicos de la época, algunos de ellos españoles (Aréjula, Porcel, etc.). Finalmente, sin embargo, se impuso *oxígeno*, demostrándose que el signo lingüístico es arbitrario y convencional, y que ese principio de buena formación etimológica que algunos científicos buscaban —y buscan— era innecesario⁵.

En otros casos lo que se persigue no es que los términos reflejen las propiedades, sino que se toma como base nombres propios. Un ejemplo claro es, de nuevo desde la química, la denominación de los alcaloides desde comienzos del siglo XIX, con el desarrollo de la química orgánica. Así, términos como *morfina* (de Morfeo, dios griego del sueño, por el efecto que produce) o *atropina* (una de las tres parcas, por lo

² Véase: B. M. GUTIÉRREZ RODILLA, 1998.

³ P. ÁLVAREZ DE MIRANDA, 2005, p. 267.

⁴ A. L. de LAVOISIER, 1798, p. 38. (Traducción del artillero J. M. Munárniz).

⁵ Se puede seguir esta polémica, por ejemplo, en C. GARRIGA, 2003b.

mortal de esta sustancia). Y también en otros campos, como muestran los ejemplos de *watio*, *ohmio* o *pasteurización*, por los científicos que inventaron estas unidades o procedimientos. También se pueden encontrar epónimos basados en nombres de países, regiones, personajes de ficción, etc.

Pero el recurso de acudir a las lenguas griega y latina seguía siendo uno de los más importantes para la creación de terminología, a pesar de que la institucionalización del inglés, una lengua no latina, como lengua de la ciencia podría haber hecho pensar que este método podía abandonarse. En el siglo XIX se acuñan términos como *fotografía* y *fotogénico*, *heliografía*, *ferrocarril*, *telégrafo*, *teléfono*, *automóvil*, etc., que siguen estos mecanismos⁶.

FORMACIÓN DE TECNICISMOS

REGLAS DE FORMACIÓN DE PALABRAS

- derivación
 - prefijación: *tricolor*, *rebajar*, *insoluble*
 - sufijación: *electricista*, *fermentación*, *refrigerante*
 - parasíntesis: *corto* > *acortar*; *raro* > *enrarecer*
- composición
 - compuestos ortográficos
 - con elementos del español: *pararrayos*, *claroscuro*, *guardabarreras*
 - con formantes cultos: *fotografía*, *ferrocarril*, *teléfono*
 - compuestos sintagmáticos: *distancia focal*, *coche cama*, *balanza electrodinámica*

CAMBIO CATEGORIAL

- revelado* (adj. > sust.)
- química* (adj. > sust.)
- científico* (adj. > sust.)
- tirante* (adj. > sust.)

CAMBIO SEMÁNTICO

- transbordo* (vocabulario marítimo > ferroviario)
- retrato* (vocabulario pictórico > fotográfico)
- cámara* (habitáculo > aparato)

PRÉSTAMO LINGÜÍSTICO

- léxico: *truck*, *túnel*, *vagón*
- semántico: *chair* (ing.) > *siège* (fr.) > *asiento* (esp.)
- calco: *chemin de fer* > *camino de hierro*

Cuadro 1.1. Principales procedimientos de formación de tecnicismos en español, ilustrados con ejemplos del léxico de la ciencia y de la técnica del Ochocientos.

⁶ En B. M. GUTIÉRREZ RODILLA, 1998, p. 156 y ss., se puede encontrar un inventario con más de ochocientas raíces cultas utilizadas en la formación de términos de ciencia y de técnica, con su significado y ejemplos.

No obstante, también se pueden crear términos nuevos utilizando los sistemas de formación de palabras propios de cada lengua. En el caso del español, los dos mecanismos más frecuentes son los siguientes:

- a) *Derivación*: se trata de palabras que se forman a partir de otra ya existente, mediante la adjunción de prefijos o sufijos. En la lengua de la ciencia y de la técnica lo que suele ocurrir es que hay preferencia por determinados sufijos y prefijos. Así, sufijos como *-aje*, *-ble*, *-ción*, *-dura*, *-miento*, etc., y prefijos como *anti-*, *ex-*, *hiper-*, *sub-*, *super-*, *trans-*, *ultra-*, etc.
- b) *Composición*: se trata de palabras que se forman a partir de raíces léxicas, pudiendo dar lugar a vocablos compuestos o a los llamados *compuestos sintagmáticos*. Entre las primeras se pueden considerar las formadas por raíces cultas griegas o latinas, que ya se han mencionado, pero también son frecuentes las constituidas por elementos léxicos propios del español, como los siguientes ejemplos de términos documentados en el siglo XIX: *apoyacabezas*, *claroscuro*, *cortocircuito*, *pararrayos*, *piezoeléctrico*, etc. Entre los compuestos sintagmáticos la variación es mucho mayor, ya que la facilidad para ensamblar términos en español es muy grande: *baño maría*, *camino de hierro*, *gas del alumbrado*, *paso a nivel*, *química orgánica*. Solo en el ámbito de la fotografía en el siglo XIX, y únicamente con el elemento *papel*, R. GÁLLEGO (2002, p. 153), señala ejemplos como *papel calotipo*, *papel yodurado*, *papel positivo*, *papel salado*, *papel plateado*, *papel fotogénico*, *papel energiatipo*, *papel chrysotipo*, *papel negativo*, *papel Bristol*, *papel sensibilizado*, *papel sensible*, *papel seco*, etc. Y también formarían parte de este tipo de compuestos elementos más complejos como *papel a la ceroleina*, *papel de sajonia*, *papel continuo impresionable*, etc.

I.2.2. Ampliación del significado de un término ya existente

Este es uno de los métodos que pasa más inadvertido, porque la palabra en cuestión se identifica como patrimonial. Un ejemplo de este fenómeno sería la palabra *cámara*, que ya se definía en el *Diccionario de Autoridades* de la Real Academia Española, 1726-1739, como ‘aposeno’, que en la 10.^a ed. (1852) introduce la expresión *cámara oscura* «artificio óptico en que los objetos exteriores se representan como pintados en un papel ó en un cristal opaco». Se entra en el siglo XX sin cambios en el diccionario, y es en el *Diccionario manual e ilustrado de la lengua española*⁷ en el que aparece la ilustración de una cámara fotográfica, aunque inexplicablemente *cámara fotográfica* no se define. Hay que esperar a la 18.^a ed. (1856) para encontrar la definición:

⁷ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 1927.

Cámara || fotográfica. Aparato que consta principalmente de un objetivo con una cámara oscura en cuyo fondo se coloca una placa o película sensible a los rayos luminosos y en la que queda registrada la imagen de los objetos exteriores. [...].

Y solo en el Suplemento de la 19.^a ed. (RAE, 1970) se define *cámara* como «aparato destinado a registrar imágenes animadas para el cine o la televisión», manteniendo la expresión *cámara fotográfica*. Se observa, por tanto, el proceso mediante el cual el sustantivo *cámara* adquiere una nueva acepción.

Lo mismo se puede decir de conceptos como *agua* —que como *aire* pasa de ser considerado elemento simple a ser un compuesto—, *fuego*, *electricidad*, etc. Y también formarían parte de este grupo las palabras que cambian de categoría gramatical. Ejemplos destacados serían *técnico* y *científico*, que originalmente eran adjetivos, y que pasan a denominar a las personas que ejercen una ciencia o una técnica⁸.

I.2.3. Préstamo de un término de otra lengua

Los términos de la ciencia y de la técnica se acuñan habitualmente en la lengua de la cultura en cuyo seno se realizan esos avances. No es un fenómeno de esta época; MANCHO DUQUE (2008, p. 332), explica cómo durante el Renacimiento, por ejemplo en la técnica naval, el español toma voces del italiano, del catalán, del portugués, del francés... Si pensamos en la actualidad, es el inglés la lengua en la que se producen los neologismos científicos, pero en el siglo XIX, como se ha comentado, era mayoritariamente el francés, aunque empezaba a perder influencia a manos del inglés y del alemán. Sin embargo, existen numerosos testimonios de que el francés tuvo en el español más influencia que en otras lenguas, hasta el punto de que era frecuente que tratados y manuales originalmente en inglés o alemán se tradujeran al español desde la versión francesa. No obstante, esta influencia es mayor en unos campos (química, fotografía, enología...) que en otros (ferrocarril, electricidad...).

Uno de los métodos que suelen utilizar las lenguas para proveerse de términos que no poseen es tomarlos prestados de otras lenguas. Es lo que suele denominarse *préstamo lingüístico*. Los más evidentes son los llamados *préstamos léxicos*, en los que la palabra enseguida se identifica por su apariencia extraña y las dificultades de adaptarla a la morfología de la lengua que la toma prestada. En el caso del léxico del ferrocarril, se ve muy claro en ejemplos como *chasis*, *raíl*, *truck*, *túnel* o *vagón*, palabras algunas de ellas ya adaptadas, pero que han experimentado numerosas vacilaciones a lo largo del siglo XIX hasta llegar a las formas actuales.

⁸ Véase el detallado estudio filológico del neologismo *técnico* realizado por P. ÁLVAREZ DE MIRANDA, 2005, p. 279, en esta misma colección; así como los datos proporcionados por M. SILVA SUÁREZ, 2007a, p. 61, sobre *científico*. Casos parecidos serían los de otros nombres de profesiones, como *químico*, *físico*, *mecánico*, etc. A este respecto, véase el estudio de M. SILVA SUÁREZ, 2008a, p. 32, sobre la denominación *ingeniero*.

Este tipo de voces ha despertado siempre muchos recelos, ya que se ha considerado que pueden ser un peligro para la lengua que las importa. Sin embargo, la historia de la lengua muestra que este ha sido un recurso habitual, desde las voces árabes a las inglesas, pasando por las italianas y las francesas, por mencionar solo las más numerosas, para dotar al español de nuevas voces que denominen conceptos, inventos, animales, plantas, etc., desconocidos hasta ese momento y que era necesario nombrar⁹.

También existe otro tipo de préstamo que pasa más inadvertido, como es el *préstamo semántico*, que consiste en crear un nuevo término con una unidad de la lengua receptora, calcando el cambio semántico que se ha producido en la lengua original. Un ejemplo de ello sería el de *asiento*, que se utilizará en el léxico del ferrocarril para denominar la pieza de hierro que soporta los extremos de los raíles, y que recibió ese nombre al adaptar las formas *chair* (ing.) y *siège* (fr.).

II

EL DEBATE SOBRE LA LENGUA DE LA CIENCIA Y DE LA TÉCNICA

II.1. *La Academia*

La lengua de la ciencia se afianza en el siglo XVIII. Además, en este siglo, el siglo ilustrado, se producen algunos cambios que incidirán en la relación entre la lengua y la ciencia. Por eso, se hacen necesarias algunas reflexiones que servirán para entender lo que ocurre en el Ochocientos español.

En 1713 se funda la Real Academia Española, con el fin de proteger y mantener lo que se denomina «la pureza del idioma». Su primera misión debía ser, según sus estatutos, elaborar un diccionario y una gramática.

Pues bien, entre 1726 y 1739 la Real Academia elabora el conocido como *Diccionario de Autoridades*, un diccionario monumental, en seis tomos, cuyas voces están documentadas en los autores de prestigio; es decir, cada definición debía recoger un ejemplo sacado de los textos con prestigio literario¹⁰.

La idea derivaba de una visión clásica de las lenguas como un ser vivo, que nace, crece, se reproduce y muere. Siguiendo esa metáfora, las lenguas, como le había ocurrido al latín, nacían, crecían (se desarrollaban), se reproducían (daban lugar a otras lenguas: castellano, catalán, gallego-portugués, francés, italiano, etc.) y morían (el

⁹ Un buen ejemplo de ello es el recorrido que propone R. PENNY, 1993.

¹⁰ La historia de la Academia y sus diccionarios ha sido estudiada por P. ÁLVAREZ DE MIRANDA, 1995 y 2000, respectivamente. Pueden verse, además, los comentarios que le dedica en esta misma colección (P. ÁLVAREZ DE MIRANDA, 2005, p. 266). También resultan muy interesantes los datos proporcionados por A. ZAMORA VICENTE, 1999. Sobre el *Diccionario de Autoridades* siguen siendo útiles los estudios de F. LÁZARO CARRETER, 1972 y 1980, así como el de S. RUHSTALLER, 2003, con abundante bibliografía. Nuevas claves sobre este diccionario, en J. M. BLECUA, 2006, y en M. FREIXAS, 2010.

latín es una lengua muerta). En estas condiciones, si una lengua se quería mantener, debía fijarse en el momento de máximo desarrollo, sin dejarla envejecer, corromperse... y acabar fragmentándose y desapareciendo.

Con esa finalidad se crea la Academia, y la manera de *fijar* —hay que recordar que el lema de la Academia es *Limpia, fija y da esplendor*— era mediante un diccionario que recogiera la lengua más brillante, que era, claro está, la de los autores de los Siglos de Oro: Cervantes, Lope, Calderón, Quevedo, etc.

Pero en ese momento había ocurrido un fenómeno nuevo, como era el desarrollo cada vez más rápido de la ciencia y de la técnica, un progreso que acarrea transformaciones en el modo de vida, produciendo cambios importantes en el léxico.

Así las cosas, cuando la Academia debe decidir qué palabras incluye en su diccionario, y ante el alud de voces llamadas entonces «de ciencias y artes», decide elaborar posteriormente un segundo diccionario, dedicado a estas voces, e incluir en el *Diccionario de la lengua* solo las que se introducen en la lengua común.

En la práctica no fue así. Como ya apunta M. Silva en la introducción a los «Apuntes biográficos» del vol. I de esta colección¹¹, la Academia no llegó nunca a publicar un diccionario de voces de ciencias y artes; por otro lado, ya desde el primer diccionario de 1726, la Academia incluyó numerosas voces especializadas, incluso a veces sin autoridad. Esta situación tendrá un reflejo decisivo en el devenir del siglo XIX.

II.2. *Esteban de Terreros*

Como se ha dicho, la Academia no llegó a elaborar nunca un diccionario de voces de ciencias y artes, pero en cambio un jesuita, Esteban de Terreros, sí que compone un *Diccionario castellano con las voces de ciencia y artes*, publicado en 1786, cuando su autor ya había fallecido. Uno de sus propósitos era, en efecto, no dejar de lado la lengua de la ciencia y de la técnica:

Este idioma contiene tambien como parte y esencial suya el de las ciencias y artes mecánicas y liberales, que aun siendo tantas, tan numerosas y cultivadas en particular en este siglo, que le han merecido el nombre de Ilustrado, pudiera cada cual formar un idioma, y una obra aparte de mui bien empleado trabajo, y el conjunto una especie de enciclopedia ó conocimiento de todas las ciencias y artes¹².

Pero Terreros se encuentra ya con un problema al recoger este tipo de voces, y se ve obligado a salir a los talleres, él mismo, a preguntar a los artesanos por esos vocabularios que no recogía el diccionario académico:

Me ha sido preciso ir de arte en arte y de facultativo en facultativo informándome por mis ojos mismos, rejistrando las artes y viendo las operaciones y manejo de instrumentos, de modo que pudiese escribir con un conocimiento práctico¹³.

¹¹ M. SILVA SUÁREZ, 2008b, p. 704.

¹² E. de TERREROS, 1786, p. v.

¹³ *Ibíd.*, p. VIII. Véase también el apunte de M. SILVA SUÁREZ, 2005a, p. 13.

En efecto, Terreros confiesa haber realizado un auténtico trabajo de campo, recorriendo los talleres y recopilando voces que hasta ese momento no se habían considerado como parte de la lengua culta. Como han demostrado diversos estudios, en el diccionario de Terreros se documentan voces de ciencia y técnica que no aparecen antes en texto alguno¹⁴.

En este sentido Terreros rompe con otro de los tópicos que más se ha repetido a lo largo de la historia de la lengua, como es el de que el español no poseía voces técnicas, siendo una lengua propia para la literatura y la religión, pero no para estos menesteres, como exponía F. LÁZARO CARRETER, 1985, p. 284.

Por la época en que Galileo, Copérnico y Kepler dotaban al mundo de leyes naturales y matemáticas, España producía sus más asombrosas obras literarias, quedando al margen de aquellas inquietudes. La falta de léxico técnico y científico es un mal que arrastra nuestro idioma desde el Renacimiento hasta nuestros días.

Cabe preguntarse si realmente el español carecía de voces técnicas, o quizá nadie se había ocupado en recogerlas, al ser la lengua literaria el modelo de lengua.

II.3. *Época de traducciones*

El siglo XVIII está considerado como «el siglo de las traducciones»¹⁵. Además, las ediciones de tema religioso se ven sustituidas, conforme avanza la centuria, por la impresión de libros de ciencia y de técnica, con la creación de bibliotecas, libros para diversos públicos: artesanos, científicos, libros de ciencia popular, diccionarios y enciclopedias... La mayoría de ellos, traducciones, pero también manuales escritos en español.

Ya en el siglo XIX, en el ámbito ferroviario, por ejemplo, en F. RODRÍGUEZ ORTIZ (1998 y 2003), se explica cómo el 9 de julio de 1829 la Real Junta de Aranceles, con una autorización real para proponer los medios de hacer el ensayo de un carril de hierro desde las principales minas de carbón hasta el punto más inmediato, solicitó un informe acerca de este particular a Gregorio González Azaola. La respuesta a dicha demanda fue la publicación, en enero de 1831, de la obra *Caminos de hierro. Tratado práctico sobre los carriles de hierro, y los carruajes, máquinas de vapor y de gas, ya movibles ó loco-motrices, ya estables y cuanto conviene saber para construirlos*. G. GONZÁLEZ AZAOLA (1831) siguió, para ello, uno de los textos del inglés Thomas Tredgold a través de la correspondiente traducción francesa realizada por T. Duverne en 1826.

¹⁴ Sigue siendo fundamental el estudio de M. ALVAR EZQUERRA, 2002, que se publicó originalmente como presentación a la edición facsímil del *Diccionario*, así como el de P. ÁLVAREZ DE MIRANDA, 1992. Por su parte, D. AZORÍN y M. I. SANTAMARÍA, 2004, buscan el contrapunto de Terreros respecto a *Autoridades*. Véase también la reseña de P. ÁLVAREZ DE MIRANDA, 2005, p. 280, en esta misma colección.

¹⁵ Así lo califica J. P. CLÉMENT, 1993, p. 42. Es interesante, a ese respecto, el estudio de J. GÓMEZ DE ENTE-RRÍA, 2003.

Por su parte, G. DE LA ESCOSURA (1831), publicó la traducción del *Tratado de las máquinas de vapor* de T. Tredgold a través de una versión francesa realizada por F. N. Mellet en 1828. Ya en 1833, Francisco Javier Barra, ingeniero de caminos, canales y puertos¹⁶, publicó la *Comparación entre los caminos ordinarios, los caminos de hierro, y los canales de navegación* a partir de una memoria de F. de Gerstner, impresa en Praga en 1813. Esta obra fue traducida del alemán al francés por el ingeniero Pierre Simon Girard en 1827, versión que manejó posteriormente Barra para su traducción.

Por tanto, las versiones francesas supusieron un filtro voluntario para los primeros técnicos ferroviarios españoles. Una de las razones iniciales de esta elección fue la preferencia por el nuevo sistema métrico decimal. De este modo, G. GONZÁLEZ AZAOLA (1831, p. XIII), reconoció en la «Advertencia» a su traducción del *Tratado* lo siguiente:

Desde luego había pensado atenerme fielmente á la obra inglesa original cuando me resolví á traducirla, pero habiendo visto la versión francesa hecha por Mr. Duverne, antiguo oficial de marina, la cual me pareció muy correcta, trate de cotejarlas ante todas cosas, y asegurado de su fidelidad, me he gobernado por esta, á causa de que Duverne vi que me aliviaba mucho el trabajo dándome reducidas al sistema métrico las innumerables citas de medidas inglesas que á cada paso se encuentran en la obra.

El mismo año, G. DE LA ESCOSURA (1831, p. XV), afirmaba que «Las medidas que se emplean son siempre las métricas, á menos que se prevenga lo contrario. Las medidas antiguas son exclusivamente las inglesas».

Tanto Azaola como De la Escosura recogieron, en definitiva, la preocupación de los traductores franceses Duverne y Mellet sobre el tema. T. DUVERNE (1826, p. XVII), en su *Avertissement du traducteur* decía, por ejemplo, lo siguiente:

Nous avons réduit en mesures et en poids métriques, les tables qui terminent ce traité, et toutes les fois que nous l'avons cru utile, nous avons, dans le cours de l'ouvrage, mis à côté des valeurs anglaises que nous rapportions, leur équivalent dans notre pays.

Sin embargo, los técnicos españoles no siempre aceptaron las propuestas léxicas francesas en sus traducciones. En su tratado, González Azaola mencionó un mecanismo de freno que llamó *para-ruedas*, tras realizar un extenso comentario sobre las denominaciones que recibió dicho mecanismo en otras lenguas y, en concreto, sobre la voz francesa *ralentisseur*, usada por Duverne. Estas fueron las palabras de G. GONZÁLEZ AZAOLA, 1831:

Los extranjeros llaman por lo general mecánica al sencillo mecanismo que se ha adoptado en mas ó menos variación para detener las ruedas de los coches de diligencia, y carros grandes de tráfico: los mineros y carruajes ingleses escolta, y los ingenieros franceses ralentisseur como quien diría amainador del movimiento; pero yo creo que podremos llamarle en castellano para-ruedas, voz muy del genio de nuestra lengua y que define en dos palabras todo el misterio de este artificio.

¹⁶ Véase la necrológica publicada en la *Revista de Obras Públicas* del 15-I-1872, con motivo de su fallecimiento, <http://ropdigital.ciccp.es/pdf/publico/1872/1872_tomoI_1_01.pdf> [consulta: 11-II-2011].

III

EL SIGLO XIX: PRIMERA MITAD

La entrada en el siglo XIX, sin embargo, trunca la positiva recuperación de la ciencia y de la técnica española experimentada durante la Ilustración, como ya se ha señalado desde la Historia de la ciencia¹⁷. No obstante, como explica M. Silva en la introducción del volumen IV de esta serie (M. SILVA SUÁREZ, 2007a, p. 24), a pesar del retroceso que se produce en las posiciones de la ciencia y de la técnica española en el concierto europeo, no hay que dejarse llevar por la tradicional visión catastrofista que desprecia toda la actividad técnica y científica española de esos años. Hay un retraso respecto a Europa, pero sigue habiendo logros en la ciencia y en la técnica, algunos de ellos fruto de la rápida aculturación, asimilación y desarrollo de las novedades técnicas.

De la misma manera, la lengua sigue acumulando voces técnicas, generalmente, como hemos dicho, a través de las traducciones de los tratados y manuales extranjeros, adaptando las voces, tomando préstamos, creando neologismos... El debate sobre el tecnicismo, sobre todo en relación con el diccionario, continúa¹⁸. Desbordando a veces lo que supone la primera semicenturia, en esta sección se presentan tres ejemplos de léxico técnico, los relativos al ferrocarril, a la química y a la electricidad.

III.1. *La parálisis de la Real Academia*

La Real Academia se convierte en el centro del debate. Lo cierto es que desde que se acabó el *Diccionario de Autoridades*, el trabajo de la Academia se había centrado en la elaboración de una gramática, una ortografía, pero sobre todo se vio desbordada por numerosos encargos de la Corona: informes, censuras..., unidos a la inestabilidad política.

Así, la Academia, que se proponía publicar una segunda edición de su *Diccionario de Autoridades*, desiste de ello, después de publicar el primer tomo, correspondiente a las letras A y B, en 1770. Y decide editar el diccionario en un solo tomo, desprovisto de las autoridades —el diccionario pasa de 5 tomos a solo 1—, dando a la luz el que sería el *Diccionario* de la Academia por antonomasia¹⁹.

A partir de este momento, la Academia inicia una política de restricción respecto a los neologismos, especialmente de la lengua de la ciencia y de la técnica, que es fuertemente criticada, ya que, en este momento de desarrollo técnico y científico, son

¹⁷ No parece necesario extenderse en estos aspectos, tan bien descritos por J. M.^º LÓPEZ PIÑERO, 1982a, 1982b, 1992, etc., donde a su vez se pueden hallar otras referencias del mismo autor.

¹⁸ La bibliografía sobre tecnicismos en los diccionarios del siglo XIX es muy amplia. Un estudio clásico es el de M. SECO, 1988. También se describe la importancia de los diccionarios no académicos del siglo XIX en J. MARTÍNEZ MARÍN, 2000; D. AZORÍN, 2002, sobre el léxico técnico en Salvá, y S. IGLESIA, 2004, sobre este léxico en Domínguez, etc.

¹⁹ Véase, a este respecto, el prólogo de M. SECO, 1991, a la edición facsímil del *Diccionario de la lengua española* en un tomo (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 1780).

estos campos los que producen un aluvión de palabras nuevas que los lectores no hallan en los diccionarios.

La Academia se hace eco de estas críticas, y se justifica en los prólogos de las ediciones de esta primera mitad del siglo²⁰. El más característico es, sin duda, el de la 9.^a edición (REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 1843):

Pero hay también una inmensa nomenclatura de las ciencias, artes y profesiones, cuyo significado deben buscar los curiosos en los vocabularios particulares de las mismas; tales voces pertenecen á todos los idiomas y á ninguno de ellos, y si hubieran de formar parte del Diccionario de la lengua comun, léjos de ser un libro manual y de moderado precio, circunstancias que constituyen su principal utilidad, sería una obra voluminosa en demasía, semi-enciclopédica y de difícil adquisición y manejo. Si el naturalista se quejase de no encontrar en él las voces todas con que de día en día se va aumentando el caudal de su profesion predilecta, con igual motivo se quejaría el astrónomo, el químico, el anatómico, el farmacéutico, el veterinario, y en suma los aficionados á cuantos ramos del saber componen hoy el inmenso tesoro de los conocimientos humanos. ¿Y qué diremos de los términos propios de los oficios y artes industriales complicadísimas, como las fábricas de tejidos, de destilaciones, de tintes, de quincalla, etc.? ¿Qué razón habrá para que se descarten del Diccionario, como se han descartado siempre, los nombres históricos y vulgares, los de los pueblos y ciudades del Globo, que no milite respecto de los de las ciencias, artes y oficios?

Prosigue su justificación la Academia argumentando la diferencia entre diccionario y enciclopedia. Y en otro lugar (ibíd.):

Quando en una obra histórica, en una disertación legal, en una arenga parlamentaria, en un tratado de Economía ó de materias filosóficas ó morales, se emplean oportunamente los términos anatómicos tráquea, pulmon, espina dorsal, ó bien las voces radio, diámetro, ó círculo, propias de la Geometría, ó se habla del cáliz de una flor, ó se nombra la jarcia, la quilla ó la proa de un navío, nadie tachará el uso de esas palabras, supuesta la conveniencia de su aplicación. Pero ¿quién no se burlaría del que en semejantes escritos sacase á colación el cóccix ó las vértebras cervicales; los catetos ó la ciclóide, ó bien el tallo de los Monocotiledones ó el cáliz de cuatro lacinias? Tales vocablos son tan desconocidos para la generalidad de las gentes, que no pueden salir de las obras técnicas á que pertenecen, y en ellas es donde deben buscar los curiosos su significado. Tal vez llegará tiempo en que se hagan familiares y el uso comun los prohije. Entonces tendrán derecho á entrar en el Diccionario, y podrá cualquiera servirse de ellos en la conversación y en sus escritos sin nota de afectación ó pedantería.

En efecto, parece cargarse de razón, pero lo cierto es que el *Diccionario* académico recogía definiciones tan obsoletas como la siguiente:

DIA. El espacio de tiempo que el sol gasta con el movimiento diurno desde que sale de un meridiano hasta que vuelve al mismo, dando una vuelta entera á la tierra. Divídese en 24 horas, en que entra el día y la noche, y se llama DIA natural.

²⁰ El estudio de M. ALVAR EZQUERRA, 1993, a partir de los prólogos de las diferentes ediciones de la Academia resulta muy útil para trazar este recorrido.

La Academia, no obstante, irá acusando poco a poco esta crítica y, en las ediciones 11.^a (1869) y sobre todo 12.^a (1884), acometerá profundas reformas, especialmente en lo que a las voces de ciencia y técnica se refiere, con la inclusión de numerosos términos de estos ámbitos, tal como se describe más adelante.

III.2. *Los diccionarios de autor: Salvá, Domínguez, Gaspar y Roig*

En efecto, la Academia había tenido el monopolio de los diccionarios desde que se creó, en 1726. Solo el ya mencionado diccionario de Terreros se había interpuesto en su camino. Pero este monopolio se rompe hacia mediados de siglo, con la aparición de tres diccionarios en muy pocos años: el *Nuevo Diccionario de la Lengua Española* de V. SALVÁ, 1847; el *Diccionario Nacional o Gran Diccionario Clásico de la Lengua Española*, de R. J. DOMÍNGUEZ, 1846-1847; y el *Diccionario Enciclopédico de la Lengua Española*, editado por GASPARY ROIG, 1853-1855. Estos diccionarios tenían en común tres rasgos:

- Se basaban en el *Diccionario* de la Academia.
- Pugnaban con la Academia, y entre ellos, por recoger mayor número de voces.
- Criticaban abiertamente, en sus prólogos, la escasez de voces del repertorio académico.

Véase, por ejemplo, V. SALVÁ (1847, p. VIII):

El que registre su última edición, creerá que en España no se tenía noticia en 1843 del alumbrado de gas, de los reverberos, de las prensas hidráulicas, de los ferrocarriles, de los puentes suspendidos, ni de los barcos de vapor (á pesar de haber sido nosotros los que en 1543 hicimos el primer ensayo de este útil invento); que aun se construían galeas, galeazas, galeones y galeotas (Veanse estos cuatro artículos.) en nuestros arsenales; que los marinos iban cargados con el astrolabio (Vease esta voz.) para hacer sus observaciones, y que ignoraba completamente que la Tierra es la que da la vuelta alrededor del Sol, pues para tanto da margen lo que se dice en la segunda acepción de Día.

En efecto, estos diccionarios reprenden a la Academia especialmente por la falta de voces americanas (téngase en cuenta que las colonias americanas se han ido emancipando en esta primera mitad del siglo XIX) y por la escasez de las voces técnicas.

Algunos de ellos, como el de Domínguez, tienen como fuente diccionarios de otras lenguas, especialmente el francés, ya que la mayoría de estos autores eran liberales que periódicamente se exiliaban a Francia. Y por eso sirven, en algunos casos, como introductores de numerosas voces de ciencia y de técnica que encuentran en estos diccionarios su mejor vía de divulgación. Véanse algunas de estas consideraciones de su autor (R. J. DOMÍNGUEZ, 1846-1847, «Prólogo»):

Las ciencias se han enriquecido con millares de descubrimientos, cada uno de los cuales ofrece al hombre otros tantos objetos nuevos que debe conocer y clasificar, necesitando para esto darles una nomenclatura que los distinga entre sí. Las artes, la agricultura, el comercio, y por último, todo lo que el hombre conceptúa que puede serle útil ó necesario, recibe cada día un nuevo impulso, que aunque no siempre lo perfec-

ciona, lo modifica y á veces lo trastorna en términos de hacerlo variar en su misma especie. [...] He aquí la razón de ese cambio que de una generación á otra se observa en los usos, en las costumbres y en el lenguaje de una misma nación, de una misma provincia, de un mismo pueblo. Los progresos del hombre hacen innecesarios unos objetos que son reemplazados por otros más útiles y más cómodos, y por consiguiente caducan en los idiomas las voces de los unos, se hacen necesarias las de los otros, y cada vez se hace sentir más y más la falta de un Diccionario en que estén consignadas las voces nuevamente creadas, haciendo una breve descripción de los objetos que representan, si son nombres, de la acción que espresan, si son verbos, del modo de calificar, si son adjetivos, y así de las demás partes del discurso.

En el campo del ferrocarril, por ejemplo, a partir de 1844 tuvo lugar un importante proceso de desarrollo y consolidación de su terminología hacia un estado más semejante al actual. De hecho, las primeras incorporaciones lexicográficas relativas al ámbito ferroviario se produjeron en los diccionarios de autor: V. SALVÁ, 1847; R. J. DOMÍNGUEZ, 1846-1847; J. CABALLERO, 1849; GASPAR Y ROIG, 1853-1855; y R. CAMPUZANO, 1857.

III.3. *Un primer ejemplo de léxico técnico: el ferrocarril*

Es conveniente abrir un paréntesis para mostrar algunos ejemplos de lenguas técnicas. El primero se refiere a la lengua del ferrocarril, que surge en la primera mitad del siglo XIX, aunque su influencia se proyecta a lo largo de todo el Ochocientos²¹.

La primera línea férrea en la Península se inauguró en 1848, pero en los dominios de la Corona de España esta fecha se adelanta hasta 1837, en Cuba, donde se inaugura la línea La Habana-Güines. Como ya se ha comentado, aún antes se publican diversos tratados técnicos.

Cabe decir que en un primer período, fijado entre 1829 y 1835, el proceso de introducción del léxico del ferrocarril estuvo relacionado con varios hechos fundamentales. Entre ellos destacan los siguientes:

- Los intentos más tempranos para establecer los ferrocarriles y su correspondiente terminología se produjeron décadas después que en Inglaterra y Francia.
- Como ya se ha comentado, y el caso del ferrocarril es paradigmático, los tecnicismos se introdujeron, en gran medida, a partir de las traducciones francesas de los manuales ingleses originales, de transcripciones (que dieron lugar a voces como *locomotivo*, *túnel* o *vagón*) y de calcos, a través de términos como *silla* o *asiento*, procesos todos ellos realizados a partir del inglés; sobre este caso, M. Calero —autor del *Semanario de Agricultura y Artes*, publicado en Londres entre 1829 y 1831— afirmó lo siguiente:

Se usa en algunos caminos de una pieza adicional fija sobre el centro de los durmientes, que, semejante a una muñonera, recibe y abraza las extremidades de dichos carriles [...] pieza á la cual los ingleses han dado el nombre de silla²².

²¹ Los datos que siguen están tomados de F. RODRÍGUEZ ORTIZ, 1996.

²² M. CALERO Y PORTOCARRERO, 24-IX-1829, p. XIII.

El propio Calero añadió una nota a pie de página donde ofrecía como punto de referencia la voz inglesa *chair*. Traducciones francesas basadas en los textos originales ingleses tomaron el calco mediante el término *siège*, y no bajo la forma común *chaise*. El resultado de las versiones españolas basadas en las obras francesas fue, en consecuencia, la utilización de la voz *asiento* para designar el mismo referente.

- Se produjo una creciente consolidación de anglicismos como *balasto*, *coque*, *rail* o *truck*, que complementó la importante influencia inicial de la lengua francesa; sobre esta última característica, cabe recordar que durante este período fue muy numerosa la participación de técnicos y empresas inglesas en los primeros proyectos ferroviarios españoles.
- Varios términos del ferrocarril se tomaron prestados del vocabulario tradicional del transporte terrestre o marítimo; el léxico del transporte terrestre ordinario aportó al vocabulario del ferrocarril términos pertenecientes a los ámbitos de trazado (*andén*, *camino*, *carril*, *crucero*, *tránsito*) y de los vehículos y mecanismos (*carro*, *carruaje*, *coche*, *ómnibus*, *reata*, *tren* o *tirante*); la terminología marítima aportó, en especial, voces relacionadas con las operaciones y maniobras de la circulación (*alijar*, *amarrar*, *embarcar*, *lastrar*, *remolcar*, *transbordo*, *muelle* o *cabestrante*).
- El recurso de la metáfora sirvió para configurar un grupo de tecnicismos nada despreciable, bien de tipo antropomórfico (*costilla*, *muñonera*), animal (*caballo de hierro*) o por semejanza en la forma o función (*arista*, *filete*, *mortaja*).

Si se atiende a la historia de algunas palabras del campo del ferrocarril, se puede observar cómo se van asentando en el uso a lo largo del Ochocientos, hasta incorporarse en las últimas ediciones del *Diccionario* académico. Por ejemplo, el 27 de agosto de 1829, Marcelino Calero y Portocarrero define los *caminos de hierro* en su semanario londinense de esta forma: «Llámanse generalmente caminos de hierro todos aquellos en los cuales se usan carriles artificiales de dicho metal»²³. Hacía ya medio siglo que la población europea estaba utilizando la expresión *camino de hierro*. Pero aún debería transcurrir casi otro cuarto de siglo más para que, bajo una de las acepciones de *camino* y remitiendo a la voz *ferrocarril*, el *Diccionario* académico la incorpore a sus páginas. Será en la 10.^a edición: «Camino, ó más bien carriles de hierro, por los cuales van los carruajes con gran celeridad arrastrados por una máquina de vapor que va delante»²⁴.

Sin embargo, las expresiones *carril de hierro* o *máquina de vapor*, componentes de esta definición, son entradas que no estaban recogidas todavía en esa edición 10.^a del *Diccionario* (1852), y no aparecerán hasta la 12.^a (1884). Se advierte, ade-

²³ *Ibíd.*, 27-VIII-1829, p. IX.

²⁴ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 1852, s. v. *camino*.

más, que los términos *ferrocarril* o *locomotor* —usado este como sustantivo— han tenido ya cabida en 1852 y aluden, respectivamente, al mismo referente. No obstante, en ediciones posteriores sí se recogerán ambas formas.

En el caso de los términos *carril de hierro* y *ferrocarril*, es curioso observar la ausencia en el *Diccionario* de *carril de hierro* cuando es utilizado para definir *ferrocarril*, como su convivencia con la voz *barra*, o en momentos posteriores la disputa entre *raíl/riel*.

Así, la voz *raíl* es repudiada como voz bárbara por Antonio María Segovia en 1859, bajo argumentaciones como las siguientes:

Si alguna cosa nueva nos viene de país extranjero, pongámosle nombre nuevo, como hemos hecho con el ferrocarril, que es propio y adecuado; o traduzcamos la palabra extraña, como hemos hecho con la de estación, pero en todo caso no autorice la Academia barbarismos inútiles ni galicismos o anglicismos perniciosos²⁵.

Sin embargo, *raíl* se incorpora al *Diccionario* en la 12.^a ed. (1884), para entrar en conflicto, a su vez, con *riel*, que se convierte entonces en punto de mira de los ataques puristas. No obstante, la mayor indecisión —tanto periodística y técnica como académica y literaria— se da en la voz *túnel*. Son diversas las soluciones léxicas que ha seguido este término: ha sido parafraseado unas veces por Marcelino Calero como *punto subterráneo* (1829) y *mina* (1830), con interferencias entre estos términos; ha sido adaptado analógicamente por este mismo autor en otras, siguiendo una etimología popular a partir del término *tonel* —aunque solo como paso para personas—: «Tonel del Támesis, ó séase el puente y camino subterráneo que se construye debajo del lecho de un río»²⁶. La tercera solución es mantener inicialmente la grafía del préstamo léxico a partir del inglés *tunnel-tunnels* y simplificar a continuación las dos nasales en una, aún sin acentuar, *tunel-tuneles*.

Posteriormente, *túnel* tiene un uso continuado y autorizado durante más de medio siglo sin que se produzca la fijación definitiva en el *Diccionario*. Y es que este tipo de procesos constituye la base argumental de la eterna discusión sobre los criterios lingüísticos que deben seguirse para la fijación de neologismos.

Así, aparecido en Inglaterra en 1765, el término inglés *tunnel* sigue para el francés un devenir cronológico semejante al español. Fechado en Francia como préstamo en 1825, es abundante la proliferación de analogías, interferencias, étimos populares e, incluso, confusiones entre modo de construcción y lugar construido —dando expresiones del tipo *túnel subterráneo*—. Parece existir, sin embargo, en Francia, una producción de mayor cuantía que en España: *voûte* ‘bóveda’, *tonnelle* ‘glorieta’ o ‘cenador’, *tuyau* ‘tubo’ o ‘caño’, *tonneau* ‘tonel’, *entonnoir* ‘embudo’, *galerie*, *souterrain*, *percement* ‘agujero’, etc. No obstante, el escritor español Ramón de Mesonero

²⁵ A. M. SEGOVIA, 1914, p. 294.

²⁶ M. CALERO Y PORTOCARRERO, 15-IV-1830, p. XLII.

Romanos también utiliza, por ejemplo, en sus libros de viajes, voces como *bóveda* y *galería* para referirse al referente de *túnel*.

En español, solo una acepción de *mina* recoge, en la 10.^a edición del *Diccionario* académico, la siguiente definición:

MINA. Conducto artificial subterráneo, que se encamina y alarga hácia la parte y a la distancia que se necesita para los varios usos á que sirve, que el mas comun es para la conducción de agua²⁷.

En la 11.^a edición (1869), parece que *túnel* ha conseguido ya su fijación por méritos propios y es definido como ‘Trozo de camino subterráneo en los ferrocarriles. Suele aplicarse también al camino abierto debajo de un río. Es voz de uso reciente’. Sorprendentemente, dos ediciones después, en 1899, el *Diccionario* vuelve a remitir, desde *túnel*, a una de las acepciones de *mina* con el siguiente significado: «Paso subterráneo, abierto artificialmente, para conducir aguas ó establecer otra comunicación»²⁸.

Respecto a los distintos vehículos que circulan por los «caminos de hierro», inicialmente se adopta la serie de términos ya utilizados para designar a los vehículos de caminos ordinarios. Así, M. Calero usa indistintamente *carro* —en ocasiones parafraseado como *galera cubierta*—, *carruaje*, *carromato*, *coche* o, en algún momento, *los vapores*. No obstante, recoge también en 1830 la voz inglesa *waggon* en forma de préstamo: «Los carros que se usaron en un principio, y que aun sirven bajo el nombre de waggons»²⁹.

Esta voz se incorpora al *Diccionario* en la 11.^a edición (1869), definida como «Vehículo de transporte en los ferrocarriles. Dícese principalmente de los carros ó departamentos para las mercancías». Esta definición amplía su ámbito de referencia en la 12.^a edición (1884): «Carruaje de viajeros ó de mercancías y equipajes, en los ferrocarriles». En la misma edición se incorpora la voz *vagoneta*.

En este amplio intervalo de tiempo se producen varios hechos destacables: un período de vacilación ortográfica hasta castellanizar el término *waggon-wagon-vagón* y la ya citada discusión contemporánea sobre el neologismo, donde *wagon* también entra en juego a través de Antonio María Segovia (1859):

Sin embargo, cuando la necesidad sea indisputable y el uso predomine notoriamente, inclúyase la voz en el Diccionario calificándola de nueva, y aun indicando la manera en que se la podría substituir. En este caso considero a Wagon [...] Y aun para éstos debería fijarse atentamente³⁰.

²⁷ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 1852, s. v. *mina*.

²⁸ REAL ACADEMIA ESPAÑOLA, 1899.

²⁹ M. CALERO Y PORTOCARRERO, 28-I-1830, p. XXXI.

³⁰ A. M.^a SEGOVIA, 1914, p. 295. Esta cita es continuación de la identificada en la nota 25.

A todo esto se añade la convivencia de *vagón* con términos que designan los diferentes vehículos utilizados en los caminos de hierro, llegando a crear una importante jerarquía: *diligencias* o *berlinas*, *coches* o *char-à-bancs*, *waggon*s o *carruages* y los simples *furgones* para el ganado.

La llegada del término *tren* servirá para unificarlos, quedando fijado en el *Diccionario* en la 10.^a edición (1852), con una acepción específica en *tren omnibus* —tomado del *carruage* así llamado— como ‘El que lleva consigo carruajes de todas clases y para en todas las estaciones’.

Para cerrar el ejemplo del ferrocarril, cabe señalar también que el *Semanario* de M. Calero barajaba ya con profusión los términos de este campo onomasiológico: *locomoción* y el adjetivo *locomotivo* en 1829; en 1830, *locomotivos* en forma sustantiva —como traducción de un artículo de *The Times* del año anterior— y las *máquinas locomotivas*; o *locomotor* también en forma sustantiva en 1831.

Es, en definitiva, una muy temprana utilización del término inglés *locomotive*, vigente en Inglaterra desde 1815. El hecho de publicar en Londres el *Semanario* y el dato de que en Francia no se use la serie *locomotive/f*, *locomoteur/-rice* hasta 1825, apoyan esta afirmación, como apunta P. J. WEXLER (1955), en su tesis sobre la formación del vocabulario francés del ferrocarril.

El *Diccionario* académico refleja también dudas en la fijación de este campo. Como ya se ha dicho anteriormente, en la 10.^a edición (1852) aparece *locomotor/-ra* —adjetivo y sustantivo en ambas formas—, *locomoción* y el campo afín de *motivo/-a*, *movedor/-a*, *motor/-a* y *motriz*; en la 11.^a edición (1869) se añade *locomovible*; en la 12.^a edición (1884), *locomotora* ya solo mantiene su forma sustantiva en femenino y se añade *locomotriz*, término que, bajo la forma *locomotrices*, se recoge ya en un prospecto técnico de 1844, es decir, cuarenta años antes. En la 13.^a edición del *Diccionario* (1899) se añade *locomóvil* (en forma adjetiva y sustantiva). Pero sobre todos ellos destaca una ausencia, la de *locomotivo/-a*. Únicamente diccionarios especializados como el de B. VICENTE GARCÉS (1869), s. v. *locomotiva*, recogen esta voz.

Entre todos estos usos y alternancias, Marcelino Calero intercala también el uso de ciertos calcos a partir de formas inglesas. Entre ellas, *steam-horse*, *steam-carriage* y *stage-coach*. Las soluciones ofrecidas corresponden a «máquinas de vapor llamadas caballos de hierro» —la transcripción correcta de *steam-horse* hubiese sido en todo caso *caballo de vapor*, expresión que sí es recogida por la 11.^a edición del *Diccionario* (1869), pero ya como «unidad de fuerza»—; *coche nuevo de vapor* para *steam-carriage*; y *varios coches de diligencia* —en relación con coches de vapor— para *stage-coach*³¹.

³¹ Los campos de la enología, la fotografía o la electricidad sirven también como ejemplo de los distintos procesos de incorporación y adaptación de nuevas voces en el español del siglo XIX.

III.4. *Un segundo ejemplo de léxico técnico: la química*

Como ya ha sido repetidamente estudiado, tanto desde la historia de la ciencia³² como desde la historia de la lengua³³ —hay referencias a ello en los epígrafes anteriores—, a partir del momento en que Lavoisier y sus colaboradores propusieron la nueva nomenclatura química, la lengua de esta disciplina se convirtió en un paradigma de lengua científica.

En efecto, la nomenclatura química pretendía sustituir las antiguas denominaciones de la alquimia, basadas en la apariencia, en los colores, en los olores, etc. Además, eran denominaciones diferentes en cada país, que hacían muy difícil el intercambio científico. El avance de la ciencia hace aflorar nuevos elementos químicos que había que nombrar. Estas circunstancias producen un clima de renovación léxica único.

No vamos a incidir de nuevo sobre los ejemplos tradicionalmente estudiados de *oxígeno*, *ázoe/nitrógeno*, *hidrógeno*, etc., sino en otros fenómenos léxicos también muy interesantes, como la aparición de las terminaciones en *-ina* y en *-ona*, la acuñación de términos peculiares a juzgar por sus constituyentes, como el caso de *glicol*, o la competencia léxica entre *átomo*, *corpúsculo*, *molécula* y *partícula*.

Como se explica en la clásica obra de M. P. CROSLAND (1962), sobre la historia de la lengua de la química, uno de los recursos de la química moderna para acuñar términos manteniendo la sistematicidad de la nomenclatura fue el uso de determinadas desinencias. En el siglo XIX se empiezan a utilizar las terminaciones *-ina* para los alcaloides, *-ona* para las cetonas, *-ol* para alcoholes y fenoles, *-eno* para los hidrocarburos, etc. Fueron los primeros, los alcaloides, los que marcaron la pauta, y concretamente el caso de la *morfina*. CROSLAND (1962, p. 299), lo explica así:

The history of this important group of compounds began when Sertürner examined a new substance extracted from opium. In 1817 he announced that the new substance was an alkali, the first alkaline compound of vegetable origin to be isolated. Sertürner called it *morphium*, but when the original paper written in German was translated into French, it was called *morphine*. The next group of alkaloids to be isolated were all discovered in France and it was the French name which was taken to establish their nomenclature.

A partir de aquí, recurriendo también a la mitología griega, se acuña *atropina*, modelo sobre el cual irían apareciendo denominaciones como *quinina*, *estricnina*,

³² Por mencionar solo algunos estudios, véanse los de R. GAGO y J. L. CARRILLO, 1979; R. GAGO, 1990; R. GAGO e I. PELLÓN, 1994; E. PORTELA y A. SOLER, 1987; A. GARCÍA BELMAR y J. R. BERTOMEU, 1999; A. NIETO GALÁN, 2003; J. R. BERTOMEU y A. GARCÍA BELMAR, 2006, etc. En esta colección, debe verse el de A. ROCA ROSELL, 2005, para conocer la actividad de la química en Barcelona.

³³ Son numerosos los estudios que en el grupo Neolcyt se han dedicado a diferentes textos químicos, así como a las dificultades y las particularidades de la historia de la lengua de la química. Solo mencionaremos aquí, por ser de enfoque panorámico, los de J. GUTIÉRREZ CUADRADO, 2001, y C. GARRIGA, 2003b. Se puede consultar el resto de los trabajos en <<http://dfe.uab.cat/neolcyt>>.

teína, cafeína, aconitina, etc.³⁴ Estas denominaciones llegan al español a través de diversos tratados traducidos del francés, incluso aunque el original fuera alemán. Quizá el más importante sea el *Tratado de química orgánica* de J. LIEBIG, 1847-1848, que introduce hasta 73 denominaciones en *-ina*, que serán recogidas por el *Diccionario* de la Academia en diversas ediciones de los siglos XIX y XX³⁵.

Paralelamente a lo que ocurre con las denominaciones en *-ina*, se empieza a utilizar el sufijo *-ona* para nombrar las sustancias del grupo de las *acetonas*. Si en 1817 se descubría la sustancia que se llamaría *morfina*, en 1833 se halla lo que Bussy denomina inicialmente *espíritu piroacético*. Pero enseguida abandona este nombre compuesto para acuñar el de *acetona*, que también será el primero de la serie en llegar al español. Se puede documentar, por ejemplo, en la traducción de Sáez Palacios y Ferrari Scardini del ya mencionado *Tratado de química orgánica* de J. LIEBIG (1847-1848, p. 177):

Quando se hace pasar el ácido acético concentrado reducido á vapor al traves de un tubo de porcelana ó de hierro calentado hasta el tojo [sic] oscuro, se descompone en su totalidad, sin depositar carbono, en un líquido volátil e inflamable (acetona) y en diferentes gases [...].

En el texto se menciona la equivalencia de *acetona* con las denominaciones con las que competía: *espíritu piroacético*, *espíritu piroleñoso*, *alcohol mesítico* y *bihidrato de mesitilena*. Pero *acetona* se impone, y solo unos años después ya se halla en la lexicografía española, a través del diccionario editado por GASPARY ROIG (1853-1855):

acetona. s. f. Quím.: sustancia líquida, incolora y muy límpida, de sabor acre y ardiente al principio, luego fresco y urinoso, que se forma cuando se descomponen por medio del fuego ciertos acetatos, y en otros varios casos³⁶.

Pero no todo fueron sufijos. En la creación de términos a veces participan procedimientos más azarosos, como ocurre en el caso de *glicol*, formado por Wurtz, en 1856, a partir de una contracción de las palabras *GLICERINA* y *ALCOHOL*³⁷.

Un último episodio interesante es el que se produce por la competencia entre términos que denominan un mismo referente. Porque cuando se trata de estudiar términos de nueva acuñación la metodología está más clara; pero, cuando se trabaja con voces que ya aparecían en el español patrimonial, la investigación debe ser mucho más matizada. En esta primera parte del siglo XIX es ejemplar la rivalidad que se esta-

³⁴ Sobre la metáfora en la lengua científica, puede verse el estudio de A. MARTÍN-MUNICIO, 1992, quien se fija, entre otros aspectos, en las denominaciones que tienen como fuente la mitología griega.

³⁵ Más detalles sobre este grupo de palabras en C. GARRIGA, 2001.

³⁶ Habrá que esperar a 1925 para que sea recogido por la 15.^a ed. del *DRAE*.

³⁷ Así lo documenta el *Trésor de la Langue Française* (TLF). Más detalles sobre Wurtz y los términos que introdujo en el español con sus *Lecciones elementales de química moderna*, en C. GARRIGA y M. L. PASCUAL, 2009.

blece entre *átomo*, *partícula*, *corpúsculo* y *molécula*. No se trata ahora de trazar la historia de estos cuatro términos, algunos de ellos en la lengua desde el principio: *átomo* desde su origen griego, con el desarrollo de diversos significados en la lengua común para denominar entidades minúsculas, y con los cambios que experimenta la misma noción filosófica y científica a lo largo de los siglos³⁸; o *partícula*, equivalente culto y latinizante del patrimonial *partecilla*, forma que aparece en los textos técnicos traducidos del latín hasta el siglo XVIII. Estos dos términos compiten con *corpúsculo*, que se había acuñado en el XVII, en especial a partir de la filosofía corpuscular de Newton, y con *molécula*, que empieza a aparecer con frecuencia en el siglo XVIII.

Los textos demuestran, en efecto, que las cuatro denominaciones constituyen variantes estilísticas para los autores del XVIII. Así, Antonio Nicolás Zacagnini, traductor de las *Lecciones de physica experimental* de J. A. NOLLET (1757), utiliza *partícula*, *corpúsculo* y *molécula* indistintamente donde el original francés emplea expresiones parafrásticas. Compárense ambos textos:

NOLLET, 1757, I / pp. 224-225	NOLLET, 1745, II / pp. 282-283
<p>Por ahora, para dâr à conocer el efecto de dos líquidos de diferente densidad mezclados en un vaso, solo añadirèmos à la descripción dada, que los corpúsculos de que se componen dichos líquidos, estàn tambien compuestos de otras partículas mas sutiles, muy trabadas, y adherentes unas à otras; siendo, pues, mayor, ò menor la densidad de estas moléculas, y ocasionando su figura, y tamaño un mayor, ò menor vacuo en el conjunto, es claro, que los fluidos, ò líquidos que resultasen, seran tambien mas, ò menos densos.</p>	<p>Tout ce que nous avons à ajouter à cette description, pour faire entendre comment se comportent dans le même vaisseau deux liqueurs de densités différentes, c'est que ces petits corps qui les composent, sont eux-mêmes des assemblages de parties plus subtiles, fortement liées & adhérentes entr'elles; la densité de ces petites masses étant plus ou moins grande, leurs figures & leurs grandeurs occasionnant plus ou moins de vuide dans leur assemblage, on conçoit bien qu'il en doit résulter des fluides ou des liqueurs plus ou moins denses.</p>

De la misma manera, ya bien avanzado el siglo XIX, la 12.^a ed. del *Diccionario* de la Academia (1884) aún mantenía la equivalencia de estos términos con *átomo*:

Corpúsculo. (Del lat. *corpuscŭlum*, d. de *corpus*, cuerpo) m. *Fís.* Cuerpo muy pequeño, molécula, partícula, elemento.

Molécula. (d. del lat. *mŏles*, mole) f. Agrupación definida y ordenada de átomos, la cual se considera de volumen perqueñísimo y como primer elemento inmediato de la composición de los cuerpos.

³⁸ Un estudio monográfico sobre la historia de la voz *átomo*, en C. GARRIGA, 2008.

No obstante, otros diccionarios españoles del siglo XIX ya definían con más propiedad sobre todo *átomo* y *molécula*, más de acuerdo con el avance del conocimiento que se había ido produciendo³⁹.

III.5. *Un tercer ejemplo de léxico técnico: la electricidad*

Otro de los módulos del vocabulario técnico más dinámico en estos años es el de la electricidad. Esta disciplina empieza a desarrollarse a mediados del siglo XVIII, y tuvo sus primeras aplicaciones prácticas reseñables durante la segunda mitad del siglo XIX. A pesar del considerable retraso de los estudios de física en España, el empeño de unos pocos científicos e ingenieros contribuyó a la difusión de los avances y aplicaciones que la electricidad experimentaba en Europa. Por una parte, el saber teórico y la práctica acumulada, que solo se habían aprovechado para la telegrafía⁴⁰, se aplicaron entonces, gracias a la invención de la *dinamo* (1873), del *alternador* (1883) y del *transformador*, en la construcción de centrales de suministro y transmisión eléctrica. Por otra parte, la iluminación mediante *lámparas de incandescencia* (1876) comenzó a sustituir al alumbrado por gas y se llevó a cabo la primera instalación telefónica (1877). Con todo ello, y coincidiendo con la fundación de la Sociedad Española de Electricidad (1881), se llegó a la consolidación de la industria eléctrica aplicada. En este contexto vieron la luz algunas publicaciones periódicas consagradas a su estudio: la revista *La Electricidad* (1883-1889) fue la más significativa de ellas y una de las primeras aparecidas en Europa sobre la materia.

A partir de aquí, nació la *electrotecnia*, los motores eléctricos comenzaron a utilizarse en los transportes y, finalmente, los adelantos en las investigaciones eléctricas ayudaron a la implantación de la industria de la electroquímica, la electrometalurgia y la galvanoplastia.

Sin embargo, desde un primer momento, dada la vital importancia que la divulgación de los nuevos conocimientos tenía para el desarrollo industrial español, uno de los principales objetivos fue paliar la falta de textos especializados sobre electricidad y sus aplicaciones. Diversos manuales, principalmente traducidos, que abordaban aspectos muy diversos relacionados sobre todo con su utilidad práctica, fueron publicados en español durante la segunda mitad del siglo XVIII. En 1747, tan solo un año después de su edición francesa, Joseph Vázquez y Morales traduce el *Ensayo sobre la electricidad de los cuerpos* de J. A. Nollet, el primer texto relacionado con los nuevos conocimientos y experiencias desarrollados en el continente europeo. Cinco años más tarde, en 1752, ve la luz la *Physica Eléctrica* de Benito Navarro y Abel de Veas, que se convertirá en la primera obra de autor español sobre electricidad.

³⁹ Un estudio comparativo de la historia de *átomo*, *corpúsculo*, *molécula* y *partícula* en C. GARRIGA, en prensa.

⁴⁰ Puede verse a este respecto, en el volumen V de esta colección, el completo estudio de S. OLIVÉ y J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2007.

Con posterioridad, comenzará a ser habitual la presencia de estudios sobre la electricidad en los tratados de física experimental. Así, otras obras de J. A. Nollet se traducirán al español, como las *Lecciones de física experimental* (1757), por parte de Antonio Zacagnini, convirtiéndose en el único texto de referencia sobre física experimental que pudo encontrarse en las escuelas españolas durante treinta años; las *Observaciones Physicas sobre la Fuerza Eléctrica* de C. Rieger (1763), traducidas por P. Miguel de Benavente; las *Cartas sobre la electricidad* del propio abate Nollet, que leerá Antoni Juglà y Font en el seno de la Real Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona a partir de 1773; o los textos de Sigaud de la Fond, *Elementos de física teórica y experimental* (1787) y el *Resumen histórico y experimental de los fenómenos eléctricos* (1792), traducidos al español por Tadeo Lope.

Como explica J. A. MORENO VILLANUEVA (1998a), términos como *electricidad*, *eléctrico* o *electrizar* ingresan en nuestro idioma a mediados del siglo XVIII a través de las traducciones de las obras francesas; más tarde, serán empleados también por los autores españoles. Así, se documentan en Nollet, pero también en Navarro y Abel de Veas, o Juglà y Font. Por otra parte, de nuevo el *Diccionario castellano con las voces de ciencias y artes* de E. de Terreros y Pando (1786-1793) es el primer repertorio de carácter general que da cuenta de la incorporación de tales voces en la lengua española⁴¹.

Al igual que ocurrió con otras ciencias, el diccionario —fundamentalmente el de carácter enciclopédico— se perfiló como un instrumento idóneo para la catalogación del conjunto de conocimientos. El *Diccionario de electricidad y magnetismo y sus aplicaciones á las ciencias, las artes y la industria*, de Julien Lefèvre (1852-1926), catedrático de la Escuela de Ciencias de Nantes, fue el primer diccionario especializado aparecido en España sobre electricidad. Traducido por Antonio de San Román, ingeniero del Cuerpo de Minas, a partir de la primera edición francesa (1891), fue publicado en Madrid en 1893.

La idea sobre la importancia del diccionario como instrumento para fijar la terminología de la ciencia y la técnica eléctrica se observa en la introducción de esta obra a través de las siguientes palabras:

[...] una lengua nueva a la que las necesidades del taller, la fantasía o la vanidad de los inventores agregan incesantemente palabras nuevas, que no siempre constituyen una riqueza; una sinonimia complicada y a veces atrevida, hasta desorientar a los sabios de profesión, tales son los elementos algo discordantes que debe reunir, coordinar y dilucidar un diccionario de electricidad (J. LEFÈVRE, 1893, p. VI).

La dificultad de encontrar siempre tecnicismo verdaderamente castizo, dificultad con que ya contábamos al emprender nuestro trabajo, nos ha obligado á emplear en él

⁴¹ Estas voces se incorporan al *DRAE* en 1803 (4.ª ed.), donde *electricidad* se define del modo siguiente: «Materia sutilísima, y muy fluida, diversa de los demas fluidos por sus propiedades, y comunicable á todos los cuerpos á unos mas que otros: produce varios efectos y muy extraños, y uno de los mas conocidos es el de atraer, y repeler los cuerpos leves, y la propiedad de los cuerpos que tienen esta materia. Esta voz y sus derivados se ha introducido modernamente».

algunas palabras que, aunque verdaderamente galicismos, están sancionadas por el uso que de ellas se hace en España cuando de electricidad ó magnetismo se trata.

Por la misma indicada dificultad, y tratando de apartarnos en lo posible del citado defecto, hemos aplicado algunas palabras nuevas á la nueva cosa que tratábamos de definir, deseando con ello fijar de una vez su sentido ante la imposibilidad de buscarlo en una sola palabra en el Diccionario de la Lengua (J. LEFÈVRE, 1893, p. xv).

En 1898, cinco años después de la aparición de la versión española del diccionario de Lefèvre, se publica un nuevo repertorio dedicado a la ciencia eléctrica y a sus aplicaciones técnicas: el *Diccionario práctico de electricidad*, traducción de José Pla⁴² de la segunda edición inglesa de la obra de Thomas O'Connor Sloane (1851-1940). La idea de diccionario terminológico prevalece en el texto inglés frente a la concepción enciclopedista francesa, según se desprende de las palabras del propio autor (T. O. SLOANE, 1898):

La ciencia se ha desarrollado de tal modo, que lo que hoy puede llamarse estrictamente diccionario hubiera bastado hace pocos años para una enciclopedia. Una enciclopedia de electricidad sería por consiguiente una obra muy voluminosa. Sin embargo, un diccionario con buenas definiciones, y reducido á los límites más estrechos por medio de la enunciación de los sinónimos, y en el que las innumerables referencias mutuas sean trasladadas á un índice conciso, será bastante más que lo que ordinariamente se entiende por un diccionario.

IV

EL SIGLO XIX: SEGUNDA MITAD

IV.1. *La reacción de la Real Academia: 1884*

Conviene retomar ahora la evolución del *Diccionario* académico que había quedado en la edición de 1843. En efecto, se trataba de una edición importante, sobre todo por las reflexiones que se hacían en su prólogo. Pero el análisis de su contenido no refleja, en cambio, que se produjera una gran reforma en cuanto a la aceptación de voces de la ciencia y de la técnica. Y de hecho, ni las ediciones de 1843 ni la de 1852, ya en la segunda mitad, supusieron una modernización significativa.

Esta modernización del léxico científico y técnico se produce en las tres últimas ediciones del siglo: la de 1869, la de 1884 —en especial—, y la de 1899⁴³. En ellas se manifiesta, en efecto, el reflejo de la presión que acerca de las voces de ciencia y técnica se había ejercido hacia la Academia.

⁴² J. Pla vertió al español otras obras del autor inglés, como *La electricidad simplificada* (1898), *Aritmética de la electricidad* (1898), *Cómo se forma un buen electricista* (1898) o *La electricidad para todos* (1899).

⁴³ Sobre la 12.^a ed., de 1884, puede verse el estudio de C. GARRIGA, 2001; y sobre la 13.^a ed., de 1899, el de G. CLAVERÍA, 2003; y concretamente sobre el léxico especializado en esta edición, G. CLAVERÍA, 2001.

Es necesario centrarse en la edición 12.^a (1884), que, como se ha apuntado, se puede considerar la más importante del siglo XIX. Enseguida, en el prólogo, la Academia se justifica por haber introducido numerosas voces técnicas:

Otra novedad de la duodécima edición es el considerable aumento de palabras técnicas con que se la ha enriquecido. Por la difusión, mayor cada día, de los conocimientos más elevados, y porque las bellas letras contemporáneas propenden á ostentar erudición científica en símiles, metáforas y todo linaje de figuras, se emplean hoy á menudo palabras técnicas en el habla común. Tal consideración, la de que en este léxico había ya términos de nomenclaturas especiales, y las reiteradas instancias de la opinión pública, lograron que la Academia resolviese aumentar con palabras de semejante índole su DICCIONARIO; aunque sin proponerse darle carácter enciclopédico, ni acoger en él todos los tecnicismos completos de artes y ciencias.

Y así es. El léxico de las diferentes técnicas muestran como la 12.^a es la edición —junto con la de 13.^a, de 1899— que más voces incorpora al diccionario académico: desde el campo de la enología se incorporan 60 nuevas voces en 1884 y 27 en 1899; en cuanto a la terminología ferroviaria, 32 nuevas voces en 1884 y 25 en 1899; para el campo de la electricidad se incorporan 42 nuevas voces en 1884 (*chispa eléctrica, inductor, polarización, lámpara, luz eléctrica*, etc.) y 67 en 1899 (*circuito, corriente eléctrica, dinamo, electricista, polaridad*, etc.); o el caso de la fotografía, que aportó 25 nuevos términos en cada una de las dos ediciones, entre ellos, *acromatismo, distancia focal, daguerrotipo, fijar, fotogénico, fotografiar, placa sensible, revelar, trípode*, etc.⁴⁴ Véanse algunos ejemplos de las definiciones elaboradas para las incorporaciones de este último campo:

Fotografía. (Del gr. φως, φωτός, luz, y γράφω, grabar, dibujar, representar.) f. Arte de hacer permanentes, por medio de substancias impresionables á la luz, las imágenes obtenidas en la cámara obscura y de reproducirlas en copias sin estampación. || Estampa obtenida por medio de este arte. || Oficina en que se ejerce este arte.

Fotogénico, ca. (Del gr. φως, φωτός, luz, y γεννάω, producir.) adj. Que promueve ó favorece la acción química de la luz.

IV.2. Los diccionarios especializados

La necesidad de cubrir las parcelas léxicas cuya terminología específica se halla más alejada de la lengua común es la razón de que existan los diccionarios especializados. En esta misma colección explica M. J. MANCHO DUQUE (2008, p. 324), cómo los glosarios especializados experimentan durante el Renacimiento una revolución sin precedentes, que tiene su continuación en el Siglo de las Luces (P. ÁLVAREZ DE MIRANDA,

⁴⁴ Los datos están tomados de J. A. MORENO VILLANUEVA, 1995-1996, para el léxico de la electricidad; de F. RODRÍGUEZ ORTIZ, 1996, para el léxico del ferrocarril; de R. GÁLLEGO, 2002, para el léxico de la fotografía; y de F. BAJO SANTIAGO, 2003, para el léxico de la enología.

2005, p. 279). Como ya se ha comprobado, una gran parte del léxico técnico se encuentra ya en los diccionarios generales, pero durante el siglo XIX se atribuye una nueva función a este tipo de obras: la de frenar, o canalizar, la entrada de barbarismos técnicos, proponiendo soluciones léxicas antes que las extranjeras o «mal formadas» se asienten en el uso de los especialistas. También podía ser una buena manera de acercarse al técnico, o al artesano, no experto, incapaz de enfrentarse con un tratado sobre un determinado tema, pero sí de buscar información acerca de una determinada palabra. Jean Pierre Clément expone las razones por las que estos diccionarios tienen tanto éxito a partir de la Ilustración:

[...] el diccionario es una forma de publicación que conviene bastante bien a las Luces. Primero porque permite abarcar áreas muy vastas y variadas, respondiendo así a la voluntad de universalidad de un tiempo que quiere saberlo todo en todos los terrenos (enciclopedismo). Paralelamente, se pueden evocar otras razones, como el gusto por lo práctico y lo útil, para lo cual está perfectamente adaptada esta suerte de publicaciones: o como la neutralidad del orden alfabético, muy propia de la objetividad necesaria para las actividades científicas⁴⁵.

En el siglo XIX se mantiene esa misma tónica. A la tradición académica y a la obra de E. de Terreros se unió en este siglo una serie de obras lexicográficas de autor o de sociedades que, a imitación de las grandes empresas francesas, concibieron la lexicografía como negocio. Pero además, los textos lexicográficos especializados aumentaron en número y cubrieron diversos campos de la ciencia y de la técnica durante la segunda mitad de siglo⁴⁶.

El léxico del ferrocarril fue una de las parcelas afortunadas en este sentido con la publicación, entre 1863 y 1887, de tres diccionarios específicos:

- El primero de ellos, el *Vocabulario descriptivo de ferro-carriles*, obra de Mariano Matallana del Rey, en 1863 director de caminos vecinales y canales de riego y jefe de sección de vía y obras en la compañía del ferrocarril de Zaragoza a Pamplona.
- Bajo el extenso título de *Diccionario razonado legislativo y práctico de los ferro-carriles españoles bajo el aspecto legal, técnico, administrativo y comercial de los mismos* aparece publicado en 1869 el segundo texto, obra de Benito Vicente Garcés, que contó con la colaboración de José González Álvarez.
- Finalmente, en 1887, se editó el *Diccionario general de ferrocarriles legislativo, administrativo, técnico y comercial*, elaborado por José González de las

⁴⁵ J. P. CLÉMENT, 1993, p. 48. En efecto, F. SAN VICENTE, 1995, en un estudio bibliográfico sobre el siglo XVIII, llega a referenciar 150 diccionarios de especialidad.

⁴⁶ Véase, a este respecto, el estudio de I. AHUMADA, 2000, sobre los diccionarios especializados de los siglos XVIII, XIX y XX. Téngase en cuenta que, como indica M. P. BATTANER, 2001, muchos de ellos eran traducidos.

Cuevas y Francisco Sastre y Rodríguez, empleados en el Servicio de la Intervención y Estadística de la Compañía del Norte de España. El texto fue dirigido, a su vez, por Pedro Fernández del Rincón, abogado y secretario del consejo de administración de dicha compañía.

Los tres son fundamentales para describir el léxico técnico del ferrocarril en el siglo XIX. Como lo son, como ya se ha mencionado, los diccionarios de electricidad de las postrimerías del Ochocientos, el *Diccionario de electricidad y magnetismo* de J. LEFÈVRE, 1893, y el *Diccionario Práctico de Electricidad* de T. O. SLOANE, 1898⁴⁷.

El estudio de estos repertorios demuestra que se anticipan a las ediciones del *Diccionario* normativo a la hora de incorporar los términos. Por ejemplo, en lo que respecta a las voces ferroviarias, incluyeron un número considerable de galicismos como *tirafondo*, *eclisa*, *etiqueta*, *gabarit*, *factaje*, *tasa*, etc., con un claro seguimiento de la lexicografía francesa:

Aunque pudieramos haber elegido voces nuevas, porque nuevas son entre nosotros algunas materias y objetos, hemos evitado esto por el peligro de caer en un neologismo afectando la introducción de dichas palabras, cuando en realidad no hay una absoluta precisión. Tampoco nos importa cometer lo que llaman galicismo aceptando palabras francesas; porque no estamos en el caso de crearlas puramente españolas y adecuadas á objetos quizá desconocidos entre nosotros hace poco tiempo, y aunque las encontrásemos no nos entenderían los que tienen la costumbre de usar otras. [...] Por ahora nos contentaremos con coleccionar las palabras recaudadas, sean de origen francés, inglés, griego ó sanscrit⁴⁸.

Con frecuencia, los diccionarios no académicos de especialidad incluyeron comentarios metalingüísticos y de uso al definir determinadas voces ferroviarias, lo que pone de manifiesto los problemas e indecisiones inherentes a la incorporación a una lengua de un léxico especializado:

No nos parece muy castellana la calificación de pequeña ó grande respecto de la velocidad; pero escribimos una obrita práctica y no una censura filológica de los ferrocarriles, y por tanto aceptamos como un hecho y empleamos en toda la obra las mismas frases y voces de los sistemas francés é inglés macarrónicamente traducidas al castellano⁴⁹.

Aunque las palabras grande y pequeña velocidad no son muy castizas, las emplea la ley en todas sus disposiciones, las empresas en los documentos, tarifas y reglamentos, y son usuales y conocidas por todos⁵⁰.

⁴⁷ Se publicaron en 1893 y 1898 respectivamente, y han sido estudiados, desde el punto de vista lingüístico, por J. A. MORENO VILLANUEVA y A. MADRONA, 2004.

⁴⁸ M. MATA LLANA DEL REY, 1863.

⁴⁹ B. VICENTE GARCÉS, 1869.

⁵⁰ J. GONZÁLEZ DE LAS CUEVAS y F. SASTRE Y RODRÍGUEZ, 1887.

IV.3. *El Diccionario General de Arquitectura é Ingeniería de Clairac*

En el último cuarto del siglo XIX se inició la publicación del destacado *Diccionario General de Arquitectura é Ingeniería* de Pelayo Clairac y Sáenz, ingeniero de caminos, canales y puertos. Su redacción quedó inconclusa, y entre 1877 y 1891 se editaron únicamente cinco volúmenes (hasta el término *pteroma*)⁵¹. Bajo su título completo se afirma lo siguiente:

Comprende todas las voces y locuciones castellanas, tanto antiguas como modernas, usadas en las diversas artes de la construcción, con sus etimologías, citas de autoridades, historia, datos prácticos y equivalencias en francés, inglés é italiano.

De su publicación quedó constancia ya, en 1876, en la *Revista de Obras Públicas*⁵², a través de una reseña donde se describía la tarea llevada a cabo por P. Clairac en la confección de este diccionario:

Ha hecho un extenso y laborioso exámen de todas las obras antiguas en que se trata ó hace referencia á algunos de los ramos de las construcciones civil, naval y militar; ha reunido los vocablos comunmente usados por los artesanos de las diferentes profesiones para designar objetos ó trabajos dados, y de este modo ha encontrado las voces más propias y castizas aplicables á cada cosa, á fin de unificar nuestro lenguaje técnico y desterrar los barbarismos de que está sembrado.

Como el autor de la obra expresa, en las artes de construir el tecnicismo castellano está por reunir y razonar para ser presentado de un golpe de vista al que de ello tenga necesidad. Su agrupamiento responde á un fin práctico de suma conveniencia, y este móvil le ha inducido á acometerlo.

Ese mismo año, en *Los Anales de la Construcción y de la Industria*⁵³ se presentó esta obra lexicográfica con el convencimiento de que la adecuada aplicación de los tecnicismos facilitaría la comprensión y el estudio de las disciplinas científicas y artísticas. En todos los casos, la premisa era no aceptar de otra lengua una nueva denominación hasta tener la seguridad de que no existía un elemento patrimonial que pudiera designar la nueva realidad.

La «Introducción» del *Diccionario General de Arquitectura é Ingeniería* de P. Clairac fue redactada por el ingeniero, arquitecto y humanista Eduardo Saavedra y Moragas⁵⁴,

⁵¹ Concretamente, la publicación de este diccionario siguió la siguiente cronología: tomo I, en 1877 [A-Ca]; tomo II, en 1879 [Ce-E]; tomo III, en 1884 [F-Hyp]; tomo IV, en 1888 [I-Ll]; tomo V, en 1891 [M-P].

⁵² Tomo I (22), pp. 263-264. Esta publicación salió a la luz entre los años 1853 y 1891.

⁵³ Tomo I (16), pp. 252-253, en un artículo escrito por Mariano Carderera y Ponzán. *Los Anales de la Construcción y de la Industria*, de aparición más tardía, se publicaron entre 1876 y 1890. Sobre el papel desempeñado por esta publicación en los ámbitos de la arquitectura y de la ingeniería son fundamentales los estudios de I. AGUILAR, 1995, e I. M. GARCÍA y A. SÁENZ, 2009.

⁵⁴ Director General de Obras Públicas, Agricultura, Industria y Comercio de 1869 a 1871, miembro de la Real Academia Española, de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y de la Real Academia de la Historia, de la que fue director en 1908.

y en ella se recoge la posible resolución lexicográfica en aquellos casos en que la premisa anterior no pudiera cumplirse. Sus palabras fueron las siguientes (E. SAAVEDRA, 1877, p. VII):

No tengo la pretensión de que se busquen palabras castizas para todo y á todo trance; que cuando no las hay ni pueden salir de nuestras raíces, es mejor copiarlas de los extranjeros, como ellos hacen, hasta con muchas nuestras, cuando les conviene.

La preocupación de Clairac por la lengua se había puesto de manifiesto en sus colaboraciones en las dos publicaciones periódicas citadas anteriormente, en las que daba a conocer los detalles de algunos de los tecnicismos recogidos en su diccionario —voces como *ingeniería*, *albañilería* o *talud*—, junto a detallados grabados e ilustraciones. Además, desde 1887 —y hasta 1892— se le incluyó en el listado de autores encargados de la redacción del *Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano* —al que nos referiremos después—, en los apartados de Ingeniería y Geodesia.

Sin embargo, fue en los artículos de su *Diccionario General de Arquitectura é Ingeniería* donde se recogieron datos léxicos sobre numerosas voces técnicas que, en ese momento de la historia de la lengua y de la ciencia española, se introducen en el idioma. Por ejemplo, la obra de Clairac es la primera en incluir algunos de los términos relativos a las unidades eléctricas (*farad*, *volta* o *coulomb*), como señala J. A. MORENO VILLANUEVA (1998a). Clairac tiene siempre un cuidado exquisito por la norma, y en su diccionario señala con un asterisco las voces o acepciones que no están recogidas en la edición vigente del *Diccionario* de la Academia. Son ejemplos de ello: *pozo absorbente* (s. v. *absorbente*), *abuhardillado* ‘que tiene forma de buhardilla’, *afosar* ‘construir o abrir fosos’, *deconstrucción* ‘acción y efecto de deconstruir’, *desincrustar* ‘quitar las incrustaciones’, *disolución* ‘mezcla con agua de distintos ácidos’, *incombustibilidad* ‘cualidad de lo incombustible’, etc.

También desde sus páginas, el *Diccionario* de Clairac ofreció argumentos para una determinada elección léxica entre términos en pugna, o en la definición de ciertas voces. Así ocurrió, por ejemplo, en su preferencia por *tornillo* o *tornillo propulsor* frente a *hélice*⁵⁵ en la terminología naval (P. CLAIRAC, 1877-1891, vol. III, p. 532), a pesar de que esta última ya se hubiera impuesto entre los especialistas. Y alguna otra polémica se generó por la definición de voces como *adobe*, hecho que provocó alguna intervención en tono beligerante hacia Clairac, como la de A. DE VALBUENA (1887) a partir de la definición académica del término como ‘ladrillo que se usa sin cocer’.

También esta tontería la han querido defender los académicos diciendo que así definen el adobe otros diccionarios como el de Terreros, que copió al de la Academia, el de Arquitectura, de Bails, y el de Clairac, añadiendo que este último pone hasta unas correspondencias francesas, inglesas é italianas, que dicen igualmente que el adobe es un ladrillo crudo. Lo cual no deja por eso de ser una tontería, como ninguna tontería

⁵⁵ C. VILLAR, 2001-2002.

deja de serlo porque la digan veinte... sabios en lugar de decirlo uno solo. Pero los señores de la Academia han querido tener compañía en el desbarrar, y se explica: mal de muchos, consuelo de académicos.

Otra característica importante del *Diccionario* es la profusión de ilustraciones de aparatos y máquinas, edificios y estructuras arquitectónicas, esquemas y tablas, etc. Es frecuente, además, que en los artículos del diccionario aparecieran referencias a otros textos científicos y técnicos (Laguna, Bails, Ceán Bermúdez, Picatoste...), así como a otros diccionarios y vocabularios, además del propio de la Academia (sirvan como ejemplo Terreros, Matallana, diccionarios de minería, marítimos, etc.).

En definitiva, el *Diccionario General de Arquitectura é Ingeniería* supuso un eslabón destacado en el camino de los diccionarios de ciencias/artes/tecnología, que plantea como reto la Academia a comienzos del siglo XVIII, que retoma Terreros y que continúa con Clairac. Pero la centuria aún no ha acabado, y, ante esta obra inconclusa, la preocupación por el tecnicismo seguirá vigente.

IV.4. *El Congreso Literario Hispano-Americano de 1892*

Una de las consecuencias que se consideraba más negativa para la lengua era la amenaza de fragmentación lingüística que podía suponer la asunción de términos diferentes para un mismo concepto a los dos lados del Atlántico. Téngase en cuenta que las colonias americanas se habían ido emancipando a lo largo del Ochocientos, incluso con algunos intentos importantes de crear lenguas nacionales, escindidas del español, en varios países americanos. Estos temores se veían alimentados, además, por las predicciones de algunos filólogos europeos sobre la «inevitable» fragmentación del español.

Un reflejo de estas preocupaciones fueron los debates que se desarrollaron en el Congreso Literario Hispano-Americano que celebró la Asociación de Escritores y Artistas españoles, en Madrid, en 1892, con motivo de la conmemoración del IV Centenario del Descubrimiento de América.

Como explican J. GUTIÉRREZ CUADRADO y J. A. PASCUAL (1992), uno de los temas centrales fue, precisamente, la unidad del español. Y esta unidad se consideraba amenazada, especialmente, en relación con la lengua de la ciencia y de la técnica. Uno de los remedios fundamentales que se proponían era la elaboración de un diccionario de tecnicismos. Así lo expone ante los congresistas el delegado de la Inspección General de Ingenieros del Ejército, Ramón Arizcún, en su memoria «Sobre la necesidad y medios de formar diccionarios tecnológicos»:

Cuál sea la influencia que esta corrupción tenga en el lenguaje usual, puede colegirse considerando la extensión de la masa obrera y su influencia en el lenguaje popular, el prestigio que en esfera más alta alcanzan los hombres de carreras profesionales, y el caudal que unos y otros han de aportar al tesoro del idioma, necesitado de numerosas formas nuevas de expresión para corresponder al desarrollo de nuevas ideas y nuevas aplicaciones. Si no se le dan esas formas depuradas, las tomará como las encuentre, ya nuevas, ya sustituyendo á otras en mal hora olvidadas, y al fin diremos, como es usual en cierta fábrica importante, que de cerca conozco, pulsar por pulir, repulser por

ahondado y bornes, guilloger y tantos otros vocablos extranjeros, para emitir ideas que, por ser nuevas, no tienen expresión en nuestro idioma. El remedio de tan grave mal no puede ser otro que la formación de diccionarios técnicos en que se dé cabida a las voces aceptadas y aceptables, excluyendo las que se separan en absoluto del carácter propio y formas peculiares de nuestra lengua, y tratando de adaptar á él las que, sin serle hostiles, no se acomodan del todo á sus exigencias (R. ARIZCÚN, 1893, p. 466).

También insiste en ello el delegado de la Escuela de Ingenieros de Minas, Román Oriol, en un discurso titulado «Importancia de la tecnología», en el que expone la necesidad de elaborar un diccionario tecnológico:

En vista de la ausencia de autoridades indiscutibles, creemos que la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales tiene cuantas condiciones pueden apetecerse para llevar á feliz término la confección del primer Diccionario tecnológico de la lengua española, pues á los especiales conocimientos de todos sus individuos en determinadas profesiones científicas, hay que agregar el concurso que podrían y deberían prestarle todas las Corporaciones oficiales de carácter profesional. En efecto; para limitarnos, como ejemplo, á la profesión de minas, la Comisión del mapa geológico de España podría suministrar los elementos necesarios de la terminología, geología y paleontología; la Escuela de Ingenieros de Minas, oyendo al Profesorado de las Escuelas de Capataces, instaladas en los principales distritos mineros, podría facilitar las voces y frases técnicas de la minería y de la metalurgia, y debería coadyuvar, con los demás Centros docentes superiores, al estudio de los vocablos apropiados para el tecnicismo de la química, de la mineralogía, de la mecánica, de la construcción en sus variados ramos y de todas las ciencias exactas (R. ORIOL, 1893, p. 472).

Esta preocupación se entendía porque, durante un siglo, España e Hispanoamérica importaban ciencia y tecnología, inevitablemente acompañada de una terminología ajena al castellano. Además, durante el siglo XIX, la industrialización se había desarrollado de manera independiente en España y las distintas repúblicas de América, por lo que habían proliferado terminologías científicas y técnicas diferentes para máquinas semejantes y procesos parecidos.

Pero estos debates no cayeron en saco roto, y tras el intento de Clairac, fue Torres Quevedo quien en 1910 lanzó la idea de la Unión Internacional de Bibliografía y Tecnología Científicas, en Buenos Aires, donde se reunía el Congreso Internacional Americano. Esta asociación, con el apoyo de la RAE, hizo posible que se presentara en 1926 el primer cuaderno del *Diccionario tecnológico*⁵⁶. Es cierto que tampoco se concluye, pero es el antecedente más inmediato del *Vocabulario* de la Academia de Ciencias, que va ya por su 3.^a edición.

⁵⁶ Como ha explicado J. GUTIÉRREZ CUADRADO, 1989, la publicación del *Diccionario tecnológico hispanoamericano* no es un hecho aislado, y debe ponerse en relación con la tradición lexicográfica del español, con el interés de mantener vivas las relaciones lingüísticas (y comerciales) entre España y las excolonias americanas, con la publicación del *Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano*, que se trata después, con el compromiso de la Academia Española primero y de la Academia de Ciencias después de crear un diccionario de voces de ciencia y técnica, etc.

IV.5. *El Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano*

El siglo acaba con una obra fundamental para el establecimiento y la normalización del léxico científico y técnico del español: el *Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano*, publicado en Barcelona por la editorial Montaner y Simón, entre 1887 y 1899. Constaba de 25 tomos, y en él participó un nutrido grupo de colaboradores, algunos de gran prestigio, muchos de ellos científicos y técnicos. Entre otros, destacan los siguientes:

- Augusto Arcimis: Astronomía, Meteorología, Cronología.
- Manuel Bartolomé Cossío: Artes industriales españolas.
- Pelayo Clairac y Sáenz: Ingeniería, Geodesia.
- Eduardo Echegaray: Ciencias exactas, Mecánica, Arquitectura y Maquinaria navales.
- José Echegaray: Magnetismo, Electricidad.
- José de Letamendi: Principios de Medicina.
- Eduardo Saavedra: Arquitectura.
- Vicente Vera y López: Ciencias físicas y naturales.

Uno de los aspectos más importantes del diccionario fue la incorporación de tecnicismos que no estaban en la edición académica de 1884, pero que luego entrarían en otras posteriores. Tenía, en efecto, una finalidad enciclopédica, pero en los estudios que se han hecho sobre su léxico se muestra la importante intuición lingüística que tenían sus redactores. Su importancia, además, crece si se tiene en cuenta que es el antecedente inmediato de la *Enciclopedia universal ilustrada europeo-americana*, conocida como la Enciclopedia Espasa, publicada a partir de 1908⁵⁷.

El *Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano* se sitúa, por lo tanto, en la frontera con el siglo xx. La lengua de la ciencia y de la técnica seguirá evolucionando de manera imparable, el inglés se consolida como lengua de la ciencia, aparece la terminología, los organismos terminológicos de estandarización lingüística para la terminología, etc. Pero eso ya ha sido otra historia.

Agradecimiento. Este estudio se desarrolla en el marco del proyecto de investigación «Diccionario histórico del español moderno de la ciencia y de la técnica», financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación (HUM2010-FFI2010-15240), llevado a cabo por el grupo Neolcvt.

⁵⁷ Para más información sobre este diccionario, véase J. GUTIÉRREZ CUADRADO, 1994, con un planteamiento general, D. PRIETO GARCÍA-SECO, 2007, sobre la nomenclatura y las fuentes textuales, y P. PARDO y C. GARRIGA, 2010, sobre la autoría del diccionario y cómo se tratan los americanismos.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, I.: «La crítica de la arquitectura y de la ingeniería entre 1876 y 1890: M. Cardenera, J. A. Rebolledo, E. M.^a Repullés, E. Saavedra, y “Los Anales de la Construcción y de la Industria”», *Ars Longa: Cuadernos de Arte*, 6 (1995), pp. 25-40.
- AHUMADA, I.: «Diccionarios de especialidad de los siglos XVIII, XIX y XX», en I. Ahumada (ed.): *Cinco siglos de lexicografía del español*, Jaén, Universidad, 2000, pp. 79-102.
- ALVAR EZQUERRA, M.: «El diccionario de la Academia en sus prólogos», en *Lexicografía descriptiva*, Barcelona, Bibliograf, 1993, pp. 215-239.
- «El *Diccionario de Terreros*», en *De antiguos y nuevos diccionarios del español*, Madrid, Arco-Libros, 2002, pp. 287-303.
- ÁLVAREZ DE MIRANDA, P.: «En torno al *Diccionario de Terreros*», *Bulletin Hispanique*, 94-2 (1992), pp. 559-572.
- «La Real Academia Española», en M. Seco y G. Salvador (coords.): *La lengua española, hoy*, Madrid, Fundación Juan March, 1995, pp. 269-279.
- «La lexicografía académica de los siglos XVIII y XIX», en I. Ahumada (ed.): *Cinco siglos de lexicografía del español*, Jaén, Universidad, 2000, pp. 35-62.
- «Consideraciones sobre el léxico “técnico” en español», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. II: *El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005, pp. 263-290.
- ARIZCÚN, R.: «Sobre la necesidad y medios de reformar los diccionarios tecnológicos», en Asociación de Escritores y Artistas Españoles: *Congreso Literario Hispano-Americano*, Madrid, Establec. tipográfico de Ricardo Fé, 1893, pp. 464-468.
- AZORÍN, D.: «Salvá y la Academia Española: dos posturas frente a la recepción de los tecnicismos en el diccionario de la lengua», en M. A. Esparza, B. Fernández Salgado y H. J. Niederehe (eds.): *Estudios de Historiografía Lingüística*, Hamburgo, Helmut Buske, 2002, pp. 777-788.
- y M.^a I. SANTAMARÍA: «El *Diccionario de Autoridades* (1726-1739) y el *Diccionario castellano* (1786-1739) de Terreros y Pando ante la recepción de las voces de especialidad», *Revista de Investigación Lingüística*, VII (2004), pp. 171-192.
- BAJO SANTIAGO, F.: «La terminología enológica», *Asclepio*, LV-2 (2003), pp. 159-172.
- BARRA, F. J.: *Comparación entre los caminos ordinarios, los caminos de hierro, y los canales de navegación*, Madrid, Imprenta de D. Miguel de Burgos, 1833.
- BATTANER, M. P.: «La traducción de los diccionarios de especialidad», en J. Brumme (ed.): *La historia de los lenguajes iberorrománicos de especialidad: la divulgación de la ciencia*, Fráncfort del Meno / Madrid, Vervuert / Hispanoamericana, 2001, pp. 223-241.
- BERTOMEU, J. R., y A. GARCÍA BELMAR: *La revolución química. Entre la historia y la memoria*, Valencia, Universidad, 2006.
- BLECUA, J. M.: *Principios del Diccionario de Autoridades*, Madrid, Real Academia Española, 2006.

- BLECUA, J. M.; J. GUTIÉRREZ CUADRADO y J. A. PASCUAL (dirs.): «Los textos científicos en la mirada del filólogo y del científico», *Asclepio* LV-2 (2003), pp. 3-172.
- BRISSON, M. T.: *Diccionario Universal de Física*, trad. C. Cladera y F. X. C., Madrid, Benito Cano-Imprenta Real, 1796-1802, 10 vols.
- CABALLERO, J.: *Diccionario general de la lengua castellana*, Madrid, Imprenta de la Viuda de R. J. Domínguez, 1849.
- CABRÉ, M.^a T.: *La terminología. Teoría, metodología, aplicaciones*, Barcelona, Antártida, 1993.
- CALERO Y PORTOCARRERO, M.: *Semanario de Agricultura y Artes*, Londres, Imprenta Española de D. M. Calero, 1829-1831.
- CAMPUZANO, R.: *Novísimo diccionario de la lengua castellana*, Madrid, Imprenta de R. Campuzano, 1857.
- CARBONELL, A.: *Arte de hacer y conservar el vino*, Barcelona, Dionysos, 1992 [ed. facsímil].
- CHAPTAL, M. J. A.: *Química aplicada a las artes*, trad. de F. Carbonell, Barcelona, Imprenta del Brusi, 1816-1821.
- CLAIRAC y SÁENZ, P.: *Diccionario General de Arquitectura é Ingeniería, que comprende todas las voces y locuciones castellanas, tanto antiguas como modernas, usadas en las diversas artes de la construccion, con sus etimologías, citas de autoridades, historia, datos prácticos y equivalencias en francés, inglés é italiano*, Madrid, Talleres de impresión y reproducción Zaragozano y Jayme, 1877-1891, vols. I-II.
- *Diccionario General de Arquitectura é Ingeniería, que comprende todas las voces y locuciones castellanas, tanto antiguas como modernas, usadas en las diversas artes de la construccion, con sus etimologías, citas de autoridades, historia, datos prácticos y equivalencias en francés, inglés é italiano*, Madrid, Pérez Dubrul, 1877-1891, vols. III-V.
- CLAVERÍA, G.: «El léxico especializado en la lexicografía de finales del siglo XIX: la decimotercera edición (1899) del *Diccionario de la Lengua Castellana de la Academia*», en J. Brumme (ed.): *La historia de los lenguajes iberorrománicos de especialidad: la divulgación de la ciencia*, Fráncfort del Meno / Madrid, Vervuert / Hispanoamericana, 2001, pp. 223-241.
- «La Real Academia Española a finales del siglo XIX: el “Diccionario de la Lengua Castellana” de 1899 (13.^a edición)», *BRAE*, LXXXIII/288 (2003), pp. 255-336.
- y J. TORRUELLA: «La formación de términos en los léxicos especializados de la lengua española», en J. C. Sager: *Curso práctico sobre el procesamiento de la terminología*, Madrid, Fundación Sánchez Ruipérez, 1993, pp. 315-349.
- CLÉMENT, J. P.: *Las instituciones científicas y la difusión de la ciencia durante la Ilustración*, Madrid, Akal, 1993.
- CONDILLAC, É. B. de: *La langue des calculs*, 1798. Traducción de la marquesa de Espeja, Madrid, Imprenta de Ruiz, 1805.

- CROSLAND, M. P.: *Historical Studies in the Language of Chemistry*, Londres, Heinemann Educational Books, 1962.
- DÍEZ DE REVENGA, P., y M. A. PUCHE: «Preocupaciones lingüísticas y mecanismos léxicos en la obra de Guillermo Bowles: *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*», *Dynamis*, 27 (2007), pp. 187-210.
- DOMÍNGUEZ, R. J.: *Diccionario Nacional o Gran Diccionario Clásico de la Lengua Española*, Madrid, Establecimiento léxico-tipográfico de R. J. Domínguez, 1846-1847.
- DUVERNE, T.: *Traité pratique sur les chemins en fer et sur les voitures destinées à les parcourir*, París, Bachelier, 1826.
- ESCOSURA, G. de la: *Tratado de las máquinas de vapor*, Madrid, Imprenta de D. León Amarita, 1831.
- FREIXAS, M.: *Planta y método del Diccionario de Autoridades: orígenes de la técnica lexicográfica de la Real Academia Española (1713-1739)*, La Coruña, Anexos de la Revista de Lexicografía, 2010.
- GAGO, R.: «Luis Proust y la cátedra de química de la Academia de Artillería de Segovia», en L. Proust: *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*, Segovia, A. Espinosa, 1795; facsímil en Segovia, Academia de Artillería, 1990, pp. 5-51.
- y J. L. CARRILLO: *La introducción de la nueva nomenclatura y el rechazo de la teoría de la acidez de Lavoisier*, Málaga, Universidad, 1979.
- e I. PELLÓN: *Historia de las Cátedras de Química y Mineralogía de Bergara a finales del siglo XVIII*, Bergara, Ayuntamiento, 1994.
- GÁLLEGO, R.: *El léxico técnico de la fotografía en español en el siglo XIX*, Tarragona, Universitat Rovira i Virgili [tesis doctoral inédita], 2002.
- GARCÍA, I. M., y A. SÁENZ: *La revista Anales de la Construcción y de la Industria (1876-1890)*, Madrid, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (Colección Documentos para la Historia de la Ingeniería, 5), 2009.
- GARCÍA BELMAR, A., y J. R. BERTOMEU SÁNCHEZ: *Nombrar la materia. Una introducción histórica a la terminología química*, Barcelona, Ediciones del Serbal, 1999.
- GARRIGA, C.: «El *Diccionario Universal de Física* de Brisson (1796-1802) y la fijación lexicográfica de la terminología química en español», en C. García Turza, F. González y J. Mangado (eds.): *Actas del IV Congreso Internacional de Historia de la Lengua Española*, Logroño, AHLE / Gobierno de La Rioja / Universidad de La Rioja, 1998, pp. 179-190.
- «Sobre el diccionario académico: la 12.^a ed. (1884)», en A. M. Medina Guerra (ed.): *Estudios de lexicografía diacrónica del español*, Málaga, Universidad, 2001, pp. 263-315.
- «Aspectos de la adaptación de la nueva nomenclatura química al español», en B. Gutiérrez (ed.): *Aproximaciones al lenguaje de la ciencia*, Burgos, Instituto Castellano-Leonés de la Lengua, 2003a, pp. 301-343.
- «La química y la lengua española en el siglo XIX», *Asclepio*, LV-2 (2003b), pp. 93-118.

- GARRIGA, C.: «Lengua y ciencia: reflexiones lingüísticas de los científicos en los siglos XVIII y XIX», en T. Cabré y R. Estopà (eds.): *Objetividad científica y lenguaje*, Barcelona, IULA-UPF, 2004, pp. 183-193.
- «Notas sobre la historia de la voz *átomo*», *Revista de Investigación Lingüística*, 11 (2008), pp. 95-124.
- «Átomo/corpúsculo/molécula/partícula, o de cómo nombrar científicamente lo que no se ve», en G. Clavería y J. Torruella (eds.): *Actas del Seminario de Filología e Informática*, Barcelona, UAB, en prensa.
- y M. L. PASCUAL: «Notas acerca de la traducción española de las *Lecciones elementales de química moderna* de A. Wurtz (1874)», *Cuadernos del Instituto Historia de la Lengua*, n.º 3 (2009), pp. 89-108.
- GASPAR Y ROIG (eds.): *Diccionario Enciclopédico de la Lengua Española*, Madrid, Imprenta y Librería de Gaspar y Roig, 1853-1855.
- GÓMEZ DE ENTERRÍA, J.: «Notas sobre la traducción científica y técnica en el siglo XVIII», *Quaderns de Filologia*, VIII (2003), pp. 35-67.
- GONZÁLEZ AZAOLA, G.: *Camino de hierro. Tratado práctico*, Madrid, Oficina de D. Federico Moreno, 1831.
- GONZÁLEZ DE LAS CUEVAS, J., y F. SASTRE Y RODRÍGUEZ: *Diccionario general de ferrocarriles legislativo, administrativo, técnico y comercial*, Madrid, Manuel Minuesa, 1887.
- GUTIÉRREZ CUADRADO, J.: «La lengua y las relaciones hispanoamericanas alrededor de 1900: ideología y trabajo lingüístico», en J. L. Peset (coord.): *Ciencia, vida y espacio en Iberoamérica*, Madrid, CSIC, 1989, pp. 465-497.
- «El diccionario hispano-americano de Montaner y Simón», en *Actas del XXIX Congreso del Instituto Internacional de Literatura Iberoamericana*, Barcelona, PPU, 1994, pp. 263-282.
- «Lengua y ciencia en el siglo XIX español: el ejemplo de la química», en M. Bargalló, E. Forgas, C. Garriga, J. Schnitzer y A. Rubio (eds.): *Las lenguas de especialidad y su didáctica*, Tarragona, Universitat Rovira i Virgili, 2001, pp. 181-206.
- y J. A. PASCUAL: «A propósito de las Actas del Congreso Literario Hispano-Americano de 1892»: *Actas del Congreso Literario Hispano-Americano de 1892*, Madrid, Instituto Cervantes, 1992, pp. IX-XXXI.
- GUTIÉRREZ RODILLA, B. M.: *La ciencia empieza en la palabra: análisis e historia del lenguaje científico*, Barcelona, Península, 1998.
- (ed.): *Aproximaciones al lenguaje de la ciencia*, Burgos, Instituto Castellano y Leonés de la Lengua, 2003.
- IGLESIA, S.: «La influencia de la traducción en la elaboración de textos lexicográficos: los términos de la química en Domínguez y Bescherelle», en V. Alsina, J. Brumme, C. Garriga y C. Sinner (eds.): *Traducción y estandarización*, Madrid / Fráncfort del Meno, Vervuert / Iberoamericana, 2004, pp. 155-168.
- LAVOISIER, A. L. de: *Tratado elemental de química* (trad. de J. M. Munárriz), Madrid, Imprenta Real, 1798.

- LÁZARO CARRETER, F.: *Crónica del Diccionario de Autoridades (1713-1740)*, Madrid, Real Academia Española, 1972.
- «El primer diccionario de la Academia», en *Estudios de lingüística*, Barcelona, Crítica, 1980, pp. 83-148.
- *Las ideas lingüísticas en España durante el siglo XVIII*, Barcelona, Crítica, 1985.
- LEFÈVRE, J.: *Diccionario de electricidad y magnetismo...* (trad. A. de San Román), Madrid, Bailly-Baillière, 1893.
- LIEBIG, J.: *Tratado de química orgánica*, Madrid, La Ilustración, 1847-1848.
- LÓPEZ PIÑERO, J. M.^a: «La literatura científica en la España contemporánea», en G. Díaz-Plaja (dir.): *Historia general de las literaturas hispánicas*, Barcelona, Vergara, 1982a, vol. VI, pp. 675-693.
- *La ciencia en la historia hispánica*, Barcelona, Salvat, 1982b.
- «Introducción», en J. M.^a López Piñero (ed.): *La ciencia en la España del siglo XIX*, Madrid, Marcial Pons, 1992, pp. 11-18.
- MANCHO DUQUE, M. J.: «La divulgación técnica: características lingüísticas», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. I: *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular*, 2.^a ed., Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, pp. 311-344.
- MARTÍN-MUNICIO, A.: «La metáfora en el lenguaje científico», *BRAE*, LXXII (1992), pp. 221-249.
- MARTÍNEZ MARÍN, J.: «La lexicografía monolingüe del español en el siglo XIX: la corriente no académica», en I. Ahumada (ed.): *Cinco siglos de lexicografía del español*, Jaén, Universidad, 2000, pp. 63-77.
- MATALLANA DEL REY, M.: *Vocabulario descriptivo de ferrocarriles con la legislación de los mismos*, Zaragoza, Imprenta y librería de Roque Gallifa, 1863.
- MELLET, F. N.: *Traité des machines à vapeur*, París, Bachelier, 1828.
- MORENO VILLANUEVA, J. A.: «La recepción del léxico de la electricidad en el *DRAE*: de *Autoridades* a 1884», *Revista de Lexicografía*, 2 (1995-1996), pp. 73-98.
- «Las unidades eléctricas: aspectos terminológicos», en *Estudios de Historia de las Técnicas, la Arqueología Industrial y las Ciencias*, Salamanca, Junta de Castilla y León, 1998a, vol. II, pp. 541-552.
- «Algunas notas sobre la formación del léxico de la electricidad a partir de los textos de la segunda mitad del siglo XVIII», en *Actas del IV Congreso Internacional de Historia de la Lengua Española*, Logroño, Universidad de La Rioja, 1998b, vol. II, pp. 541-552.
- y A. MADRONA: «Los primeros diccionarios de electricidad en español: el *Diccionario de electricidad y magnetismo* (1893) de Lefèvre y el *Diccionario práctico de electricidad* (1898) de O'Connor Sloane», en P. Battaner y J. DeCesaris (eds.): *De lexicografía*, Barcelona, Universitat Pompeu Fabra, 2004, pp. 605-618.
- NIETO GALÁN, A.: «Introducción», en A. L. Lavoisier, *Tractat elemental de química*, Barcelona / Vic, IEC / Pòrtic / Eumo, 2003, pp. IX-LIII.

- NOLLET, Jean Antoine: *Leçons de physique expérimentale*, París, Guérin, 1745, <<http://cnum.cnam.fr/CGI/redir.cgi?12C14>>.
- *Lecciones de physica experimental*, Madrid, Oficina de Joachin Ibarra, 1757.
- OLIVÉ, S., y J. SÁNCHEZ MIÑANA: «De las torres ópticas al teléfono. El desarrollo de las telecomunicaciones y el Cuerpo de Telégrafos», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. v: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007, pp. 551-608.
- ORIOI, R.: «Nota relativa al estudio de la tecnología española», en Asociación de Escritores y Artistas Españoles: *Congreso Literario Hispano-Americano*, Madrid, Establec. tipográfico de Ricardo Fé, 1893, pp. 469-478.
- PARDO, P., y C. GARRIGA: «El *Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano*: notas sobre la autoría y el tratamiento del español de América», en *Actas del IV Congreso Internacional de Lexicografía Hispánica*, Tarragona, Universitat Rovira i Virgili, 2010.
- PENNY, R.: *Gramática histórica del español*, Barcelona, Ariel, 1993, pp. 231-255.
- PORTELA, E., y A. SOLER: *Bibliographia Chemica Hispanica, 1492-1950. Vol. II. Libros y folletos, 1801-1900*, Valencia, Universidad, 1987.
- PRIETO GARCÍA-SECO, D.: «El *Diccionario enciclopédico hispano-americano de literatura, ciencias y artes* (1887-1898) de la editorial Montaner y Simón», *BRAE*, LXXXVII, cuad. CCXCV, pp. 97-121.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA: *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid, 1726-1739.
- *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid, Francisco del Hierro, 1780, 1.^ª ed.
- *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid, Viuda de Ibarra, 1803, 4.^ª ed.
- *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid, Francisco María Fernández, 1843, 9.^ª ed.
- *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid, Imprenta Nacional, 1852, 10.^ª ed.
- *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid, M. Rivadeneyra, 1869, 11.^ª ed.
- *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid, Gregorio Hernando, 1884, 12.^ª ed.
- *Diccionario de la lengua castellana*, Madrid, Imprenta de los sucesores de Hernando, 1899, 13.^ª ed.
- *Diccionario manual e ilustrado de la lengua española*, Madrid, Espasa-Calpe, 1927, 1.^ª ed.
- *Diccionario de la lengua española*, Madrid, Espasa-Calpe, 1956, 18.^ª ed.
- *Diccionario de la lengua española*, Madrid, Espasa-Calpe, 2001, 22.^ª ed.
- Revista de Obras Públicas*, <<http://ropdigital.ciccp.es/public/index.php>>.
- ROCA ROSELL, A.: «Técnica, ciencia e industria en tiempo de revoluciones. La química y la mecánica en Barcelona en el cambio del siglo XVIII al XIX», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. III: *El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005, pp. 183-236.

- RODRÍGUEZ ORTIZ, F.: *Introducción y desarrollo del léxico del ferrocarril en la lengua española*, Barcelona, Universidad, 1996.
- «Tratados ferroviarios en España: primeras traducciones», en J. L. García, J. M. Moreno y G. Ruiz (eds.): *Estudios de historia de las técnicas, la arqueología industrial y las ciencias*, Segovia, Junta de Castilla y León, 1998, pp. 449-455.
- «Reseña: B. Gutiérrez, *La ciencia empieza en la palabra*», *Revista de Lexicografía*, V (2000), pp. 169-174.
- «Los ejemplos de las técnicas decimonónicas: el ferrocarril», *Asclepio*, LV-2 (2003), pp. 119-133.
- RUHSTALLER, S.: «Las obras lexicográficas de la Academia», en A. M. Medina Guerra: *Lexicografía española*, Barcelona, Ariel, 2003, pp. 235-261.
- SAAVEDRA, E.: «Introducción», en P. Clairac y Sáenz: *Diccionario General de Arquitectura e Ingeniería*, Madrid, Zaragoza y Jayme, 1877, pp. III-XII.
- SALVÁ, V.: *Nuevo Diccionario de la Lengua Castellana*, París, V. Salvá, 1847, pp. VII-XXXVII.
- SAN VICENTE, F.: *Bibliografía de la lexicografía española del siglo XVIII*, Abano T., Piován, 1995.
- SECO, M.: «El nacimiento de la lexicografía moderna no académica», en *Homenaje a Alonso Zamora Vicente*, Madrid, 1988, pp. 259-276.
- «Introducción», en *Diccionario de la lengua castellana (1780)*. Ed. facsímil, Madrid, Espasa-Calpe, 1991, pp. III-XII.
- SEGOVIA, A. M.^a: «Neologismo y arcaísmo», *BRAE*, 1 (1914 [1859]), pp. 291-297.
- SILVA SUÁREZ, M.: «Presentación. Lenguajes de la técnica en tiempos de revoluciones», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. III: *El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005a, pp. 7-46.
- (ed.), *Técnica e ingeniería en España*, vol. II: *El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005b.
- «Presentación. El Ochocientos: de la involución post-ilustrada y la reconstrucción burguesa», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. IV: *El Ochocientos. Pensamiento, profesiones y sociedad*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007a, pp. 7-104.
- «Presentación. Sobre la institucionalización profesional y académica de las carreras técnicas civiles», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. V: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007b, pp. 9-79.

- SILVA SUÁREZ, M.: «Sobre técnica e ingeniería: en torno a un *excursus* lexicográfico», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. 1: *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular*, 2.^a ed., Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008a, pp. 27-66.
- «Apuntes biográficos», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. 1: *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular*, 2.^a ed., Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008b, pp. 701-704.
- SLOANE, T. O'Connor: *Diccionario práctico de electricidad* (trad. J. Pla), Madrid, Bailly-Baillière, 1898.
- TERREROS, E. de: *Diccionario de la lengua castellana con las voces de ciencias y artes*, Madrid, Viuda de Ibarra, 1786-1793.
- TLF: *Trésor de la langue française*, <<http://atilf.atilf.fr/tlf.htm>>.
- TORRES QUEVEDO, L.: *Discursos leídos ante la Real Academia Española en la recepción pública de Don Leonardo Torres Quevedo el día 31 de octubre de 1920*, Madrid, Tip. de la Revista de Archivos, Bibliotecas y Museos, 1920.
- VALBUENA, A. de: *Fe de erratas del nuevo Diccionario de la Academia*, Madrid, Señores Viuda e Hijo de Aguado, 1887.
- VICENTE GARCÉS, B.: *Diccionario razonado legislativo y práctico de los ferrocarriles españoles bajo el aspecto legal, técnico, administrativo y comercial de los mismos*, Madrid, Imprenta del indicador de caminos de hierro, 1869.
- VILLAR, C.: «Hélice/Tornillo»: la denominación de un nuevo propulsor marino en el castellano del XIX», *Revista de Lexicografía*, VIII (2001-2002), pp. 253-265.
- VIVANCO, V.: *El español de la ciencia y de la tecnología*, Madrid, Arco-Libros, 2006.
- VV. AA.: *Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano*, Barcelona, Montaner y Simón, 1887-1899.
- VV. AA.: *Enciclopedia Universal Ilustrada Europeo-Americana*, Madrid: Espasa-Calpe, 1908-1930.
- WEXLER, P. J.: *La formation du vocabulaire des chemins de fer en France (1778-1842)*, Ginebra, Société de Publications Romanes et Françaises, 1955.
- ZAMORA VICENTE, A.: *La Real Academia Española*, Madrid, Espasa-Calpe, 1999.

Cartografía e ingeniería

José Ignacio Muro Morales
Universitat Rovira i Virgili

Vicente Casals Costa
Universitat de Barcelona

La ingeniería del siglo XIX expresó los cambios territoriales a través de mapas, una forma de representación sujeta a las normas y las prácticas de un lenguaje gráfico¹. El ingeniero militar y cartógrafo experto Ángel Rodríguez de Quijano y Arroquia dejó escrito que no es posible realizar planos y mapas «sin ser conocidos de antemano los datos numéricos, cuya traducción fiel ha de hacerse al lenguaje de las líneas». Su realización, según este ingeniero, era un arte gráfico que, «por medio de su lenguaje simbólico, fija y hace brevemente perceptibles las descripciones que el lenguaje usual haría vagas e interminables» (Á. RODRÍGUEZ DE QUIJANO, 1869, pp. 478-479).

El vocablo *cartografía* es reciente, del siglo XIX, y en sus inicios fue empleado para referirse al estudio de los mapas antiguos. El Ochocientos fue el siglo de las ingenierías y también el de las cartografías. El trabajo que presentamos versa sobre la cartografía de la ingeniería española en aquel período y está dividido en cuatro apartados. En el primero abordamos las iniciativas de uniformidad de la expresión gráfica en torno al objetivo de elaborar una cartografía de base. La segunda parte muestra el largo camino de la definición del lenguaje cartográfico realizado por la ingeniería de minas y la forestal, con el resultado de una cartografía temática centrada en la definición y clasificación de los recursos naturales. El tercer apartado está dedicado a la cartografía itineraria y a la planimetría de proyectos en la ingeniería del siglo XIX. A continuación expondremos las características de los planos geométricos de ciudades y términos municipales. En su conjunto, un recorrido de la diversidad temática de la relación entre la ingeniería y la cartografía.

¹ Este trabajo se ha redactado en el marco de los proyectos de investigación «Cartografía y agrimensura en Cataluña y Baleares (1845-1895)», del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica 2008-2011, código CSO2008-06031-C02-01, y «El control del espacio y los espacios de control: territorio, ciudad y arquitectura en el diseño y las prácticas de regulación social en la España de los siglos XVII al XIX», código CSO2010-21076-C02-01.

I

LA BÚSQUEDA DE LA UNIFORMIDAD EN EL LENGUAJE DE LOS MAPAS

A lo largo del siglo XIX y de forma progresiva, los mapas se convirtieron en documentos anónimos. El levantamiento del mapa de Cassini, el primer mapa nacional de Francia a gran escala, permitió comprobar las dificultades que planteaba la representación gráfica de un extenso territorio. En la última etapa de su realización ya eran visibles las diferencias formales de las últimas hojas con las iniciales.

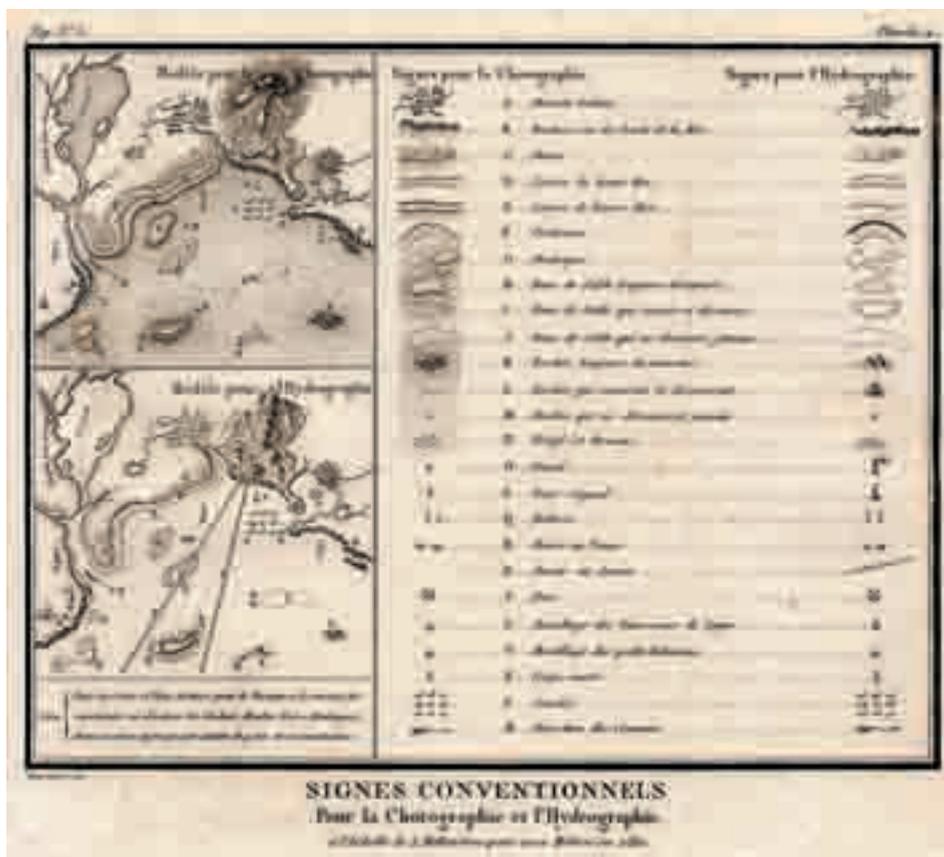
Como en otros campos del saber y de las aplicaciones, el período revolucionario también estuvo interesado en formalizar la realización de planos. En los años finales del Setecientos y los iniciales del Ochocientos fueron planteados proyectos de uniformidad cartográfica, después de comprobarse las variaciones empleadas en la resolución gráfica y en el detalle geométrico y expresión del relieve en la ingeniería. Unos proyectos y debates que llevaron al intento de trasladar el sueño de la razón a los elementos de expresión cartográfica.

I.1. *El sueño racional de la uniformidad del lenguaje cartográfico*

La Administración francesa reunió en los primeros años del siglo XIX a cartógrafos civiles y militares con el objetivo de establecer criterios de uniformidad del lenguaje cartográfico. La disparidad de métodos de representación, de levantamiento y de elaboración de mapas y planos en las instancias oficiales y privadas no casaba con la voluntad de uniformidad de la etapa revolucionaria. En el año 1802 fue organizada una comisión para la «perfección de la topografía», con el objeto de simplificar y uniformizar los signos y las convenciones en uso. Como ha afirmado Gilles Palsky (2005), se trataba de educar el lenguaje, la práctica, la mirada de los ingenieros para que estos leyeran lo mismo en el paisaje. La diversidad era considerada arbitraria, propia del régimen político anterior. En última instancia, fue un debate entre la consideración del mapa como representación abstracta derivada de mediciones sobre el terreno y los mapas de autor.

Los comisionados debatieron sobre una amplia agenda: las escalas, los caracteres (letras y cifras), el corte y la unión de hojas de las series cartográficas, la expresión del relieve, los colores y signos convencionales («Procès-verbal», 1803). Los frutos de aquella comisión fueron algunas recomendaciones sobre la utilización de escalas decimales y sus múltiplos, con una adaptación a las de levantamiento, de grabado, de planos y de dibujos. También se llegó a acuerdos sobre los caracteres que se habían de utilizar. En concreto, fueron propuestos caracteres tipográficos con tamaños relacionados con las escalas de los planos.

La elección de un procedimiento de figuración del relieve fue otro de los asuntos tratados por aquella comisión. El uso de la representación en semiperspectiva (o vista de pájaro) fue rechazado. Las curvas de nivel no quedaron excluidas debido a que eran utilizadas en los planos acotados realizados por los ingenieros, pero no se consiguió que su aplicación fuera generalizada. Entre las motivaciones argüidas deben des-



2.1. Signos convencionales para la corografía y la hidrografía a escala 1:500.000: Nótese la diferencia de representación en las cartas náuticas. En *Mémorial Topographique et Militaire*, año XI, 3.^{er} trim., 5 (1803), secc. 1.^a, cap. III («Topographie»), lám. 4.

tacarse las dificultades para realizar nivelaciones aceptables con los instrumentos disponibles, así como los diferentes niveles de base empleados. Sobre esta última cuestión, se llegó a un acuerdo para que los servicios técnicos de las administraciones refiriesen todos sus trabajos de nivelación al general del mar, con el fin de adaptar las nivelaciones efectuadas con los planos horizontales arbitrarios. Finalmente, el consenso de aquella comisión alcanzó para preferir como figuración del relieve las líneas de máxima pendiente, pues los dibujantes podían realizarlas y el resultado final era más natural.

La elección de proyecciones para los mapas, la uniformidad de cortes y perfiles, el uso del color y los signos convencionales fueron temas debatidos por aquellos expertos. Para un objetivo estrictamente cartográfico, se recomendó el empleo de la proyección plana de los objetos, con excepción de las cartas hidrográficas. Sobre las

otras cuestiones, las minutas, borradores y manuscritos debían incorporar la naturaleza cromática de terrenos y cultivos. Los planos impresos utilizarían el blanco y el negro. El lavado de mapas quedaba sujeto al degradado de la luz y la abundancia de colores fue resuelta con la elección de cuatro tonos básicos. Por su parte, los signos convencionales debían representarse a través de la proyección cenital, sin figuraciones en elevación, en una búsqueda de signos ideográficos. De nuevo, la excepción a este último criterio fueron las cartas náuticas².

En algunos aspectos hubo menos unanimidad, y en otros, las recomendaciones de aquella comisión fueron adoptadas de forma progresiva. Entre los primeros destaca la aplicación del sistema métrico a las escalas de los mapas. El resultado fue que las antiguas escalas continuaron en uso. Así, por ejemplo, el nuevo mapa de Francia de Estado Mayor fue levantado a escala 1:40.000 y reducido a 1:80.000 para su edición, debido al parecido con la escala elegida en la *Carta de Cassini* (1:86.400). Y, entre los segundos, son relevantes las dificultades para desarrollar la nivelación topográfica, e incorporarla, por ejemplo, a las hojas del nuevo mapa de Francia. Esto no sucedió hasta la década de 1820.

La influencia de aquellos trabajos en la expresión de la cartografía europea fue relevante, en particular en la española, donde los conflictos bélicos de los inicios de siglo no hicieron más que destacar las carencias cartográficas. Sin embargo, las recomendaciones sobre la uniformidad del lenguaje cartográfico tardaron años en implantarse. Algunas corporaciones, como el Cuerpo de Ingenieros Militares, establecieron normas para la formación de mapas y planos. En concreto, la *Ordenanza de ingenieros* de 1803 incluía aspectos relacionados con los métodos de levantamiento, las escalas, la representación del relieve, los símbolos y los signos (CAPEL, SÁNCHEZ Y MONCADA, 1988; Á. PALADINI, 1989). Los ingenieros debían formar un atlas con diversos mapas, entre ellos un plano a escala 1:3.600, con la nivelación exacta de los diferentes puntos de fortificación y del terreno, acotando las alturas a un plano de nivel general «que se imagine pasa por el punto más baxo del terreno que represente el plano, cuyo punto tendrá un cero por acotación». Este texto incluía una lámina con 75 signos convencionales para la representación de los detalles planimétricos, «a fin de que sean unas mismas las cifras y caracteres con que se señalen en los mapas, las plazas, ciudades, villas, lugares, aldeas, obispados, universidades, conventos, iglesias, hospitales, capitales de reynos, provincias y partidos, sus divisiones».

Como en otros países, la utilización de la nivelación topográfica tardó en generalizarse en proyectos y planos. La representación del relieve a partir de métodos de nivelación en planos de gran escala fue ensayada por los topógrafos franceses que formaban parte de las tropas de los Cien Mil Hijos de San Luis. Estos oficiales realiza-

² Las conclusiones y recomendaciones realizadas por la comisión francesa fueron incluidas en el *Memorial Topographique et Militaire*, órgano de expresión del Depósito de la Guerra en 1803.

ron desde 1823 hasta 1828 levantamientos de planos urbanos e itinerarios (M. C. MONTANER, 2000, pp. 18-22). Y utilizaron, quizás por primera vez, curvas de nivel. En el caso del *Reconnaissance des environs de Lérida* (escala 1:4.000, Barcelona, 1825), con una equidistancia de un metro (J. BURGUEÑO, 2009).

A mediados del siglo XIX la representación del relieve por curvas de nivel se impuso y el uso de las normales fue abandonado de forma progresiva, tanto en las series de mapas nacionales —cartografía de base— como en las escalas más grandes propias de los proyectos de los diferentes ámbitos de la ingeniería. Por otro lado, el método era enseñado en la asignatura de Dibujo Topográfico de las diferentes academias y escuelas de Ingeniería. Como ejemplo vale la pena reseñar que el ingeniero militar Ángel Rodríguez de Quijano y Arroquia publicaba en 1850 el primer texto específico sobre la materia. Aun así, y a pesar del dominio técnico, su aplicación en un mapa base de referencia constituyó una larga carrera. Este fue uno de los proyectos cartográficos más codiciados, aunque con resultados a largo plazo.

I.2. El déficit de la cartografía de base: proyectos y realidades

A mediados del siglo XIX nuestro país no disponía de un mapa a gran escala. Existían levantamientos parciales de mapas y planos de algunas áreas del país, realizados con objetivos específicos. Los proyectos de ingeniería derivados de la exploración minera o del diseño de las vías de comunicación generaron una cartografía construida, en gran parte, sin referencias básicas, y cada corporación técnica resolvió de forma autónoma sus propias necesidades de planimetría. Un mapa nacional, según el modelo de la *Carta de Francia*, era una de las carencias más sentidas por dichos profesionales.

Los proyectos planteados para superar este déficit empezaron a definirse en la segunda mitad del siglo XVIII. Entre los años finales del Setecientos y los iniciales del XIX se sucedieron reformas para mejorar la información geográfica. Puede citarse la organización del Gabinete Geográfico —dependencia de la Secretaría de Estado y del Despacho Universal o Ministerio de Asuntos Exteriores de la época— con el fin de reunir mapas y planos de todas las procedencias, dirigido inicialmente por Tomás López (1795-1797). Después se hicieron cargo sus hijos hasta el inicio de la guerra de la Independencia. Los fondos contenían materiales cartográficos dispersos, aunque algunos, como los de la frontera pirenaica, eran valiosos porque se habían levantado con criterios científicos y sobre el terreno (A. LÓPEZ y C. MANSO, 2006). Casi al mismo tiempo que Manuel Godoy ordenaba su creación, en 1796 fue organizado el Cuerpo de Ingenieros Cosmógrafos de Estado y del Real Observatorio. Entre sus cometidos figuraba la formación de la carta geométrica del Reino y las de las cartas geográficas, particulares y generales, de la metrópoli y de las colonias. Esta iniciativa tuvo una vida efímera y la corporación desapareció en 1804.

El plan para levantar el mapa o carta geográfica de España constituyó un proyecto ilustrado ligado a la renovación administrativa. Como tal fue reiterado en la primera mitad del XIX. Por ejemplo, en los primeros años del siglo el geógrafo Isidoro de

Antillón reclamaba la mejora de la información cartográfica y reivindicaba un papel más activo del Estado: «solo el gobierno puede mejorar este ramo importante de nuestra literatura, y aun diré de nuestra administración pública, costeando el levantamiento de una carta general de la España en punto grande, [...] como se había ya ejecutado en parte en Portugal».

En el primer tercio del siglo, la disponibilidad de cartografía de base quedaba circunscrita a los mapas de Tomás López, reeditados hasta la década de 1840, momento en que el régimen liberal recuperó la aspiración de confeccionar un mapa detallado y uniforme. Mientras, diferentes cartógrafos nacionales y extranjeros pusieron al día los mapas de López, aunque las colecciones de mapas ofrecían escasa precisión a los ingenieros (E. HERNÁNDEZ, 1998). Las líneas que siguen prestan atención a algunas de las iniciativas de carácter oficial y privado del momento hasta la publicación del mapa topográfico de España.

Durante la guerra de la Independencia fue organizado el Depósito de la Guerra (decreto de 9 de junio de 1810). Los mapas y planos levantados por los oficiales de Estado Mayor e ingenieros en ese período tuvieron un marcado carácter de urgencia y no resolvieron la necesidad de levantar un mapa a gran escala. Años más tarde, en el Trienio Liberal, el cartógrafo Felipe Bauzá y Cañas (1764-1834) presidió una comisión encargada de formar la *Carta geográfica de España*, ligada de nuevo a la reforma de la Administración española y compuesta por los ingenieros Antonio de la Iglesia Smith y Antonio Bandarán. De esta conocemos unos pobres resultados, limitados a la realización de algunas triangulaciones previas. Unos años antes, en 1817, el catedrático de Matemáticas Domingo Fontán Rodríguez (1788-1866) había iniciado las tareas de levantamiento de la *Carta geométrica de Galicia*, que se prolongaron hasta 1834. Esta no fue una obra de recopilación. Sus trabajos estaban apoyados en una triangulación, aunque, como en el caso de la definición de la línea costera, aprovechara los levantamientos hidrográficos de Vicente Tofiño. Las 12 hojas de que consta fueron editadas en París entre 1845 y 1848 a escala 1:100.000, con una representación del relieve por normales (A. T. REGUERA, 1998).

Todavía en la primera mitad del siglo, el cartógrafo e ingeniero militar Francisco Coello iniciaba la publicación de una de las colecciones de mapas más ambiciosas del Ochocientos (J. GÓMEZ PÉREZ, 1966; F. QUIRÓS, 1991), en buena parte fundamentada en la compilación de otros materiales, aunque también con observaciones y levantamientos propios. Como es sabido, el *Atlas de España y sus posesiones de ultramar* es una obra ligada a la empresa del *Diccionario geográfico* de Pascual Madoz. La primera hoja correspondiente a la provincia de Madrid fue publicada el año 1847. La colección quedó interrumpida en el año 1870, cuando quedaban por publicar 19 provincias. En total, una obra compuesta por 46 hojas, 34 de provincias españolas, 4 planos de ciudades como suplemento, 1 plano de la ciudad de Madrid y el resto planos de las posesiones africanas y colonias de ultramar. Las hojas provinciales muestran una gran uniformidad. Fueron publicadas a escala 1:200.000 —con excepción de la hoja de



2.2. Fragmento de la hoja provincial de Barcelona del Atlas de España y sus posesiones de ultramar de Francisco Coello, teniente coronel y capitán de ingenieros. En ella se aprecia la resolución gráfica del relieve en los alrededores de la montaña de Montserrat.

Canarias (1:280.000)—, tienen una leyenda de signos convencionales similar, dan noticia de los materiales y métodos de representación utilizados e incluyen la información estadística e histórica de cada ámbito geográfico. La colección también contiene más de 200 planos y contornos de las principales ciudades españolas a diferentes escalas (1:5.000, 1:10.000, 1:20.000 y 1:100.000).

Las hojas del *Atlas* fueron grabadas sobre plancha de acero y editadas en negro. Esta labor de edición resultó lenta y costosa y contó con la colaboración de especialistas (C. GUERRERO, 1998; F. NADAL y L. URTEAGA, 1998). El resultado final fue que se convirtió en la mejor cartografía disponible hasta la edición del mapa topográfico de España. Como ha afirmado la geógrafa M. Carme Montaner, «ante la falta de mapa base

de España, los mapas de Coello hicieron esa tarea, y sirvieron de base, entre otros, del mapa geológico. Cada hoja del mapa de Coello significaba un gran cambio en la cartografía posterior». A pesar de ello, los mapas de Coello no resolvieron las necesidades en materia de planimetría detallada. Hasta el inicio efectivo de los trabajos de levantamiento del mapa de España en 1854, quedó planteado un proyecto de modernización cartográfica que incluía referencias sobre el lenguaje de expresión y la uniformidad formal de los mapas, el sistema de representación del relieve y el dibujo topográfico.

1.3. Un «lenguaje topográfico para todos».

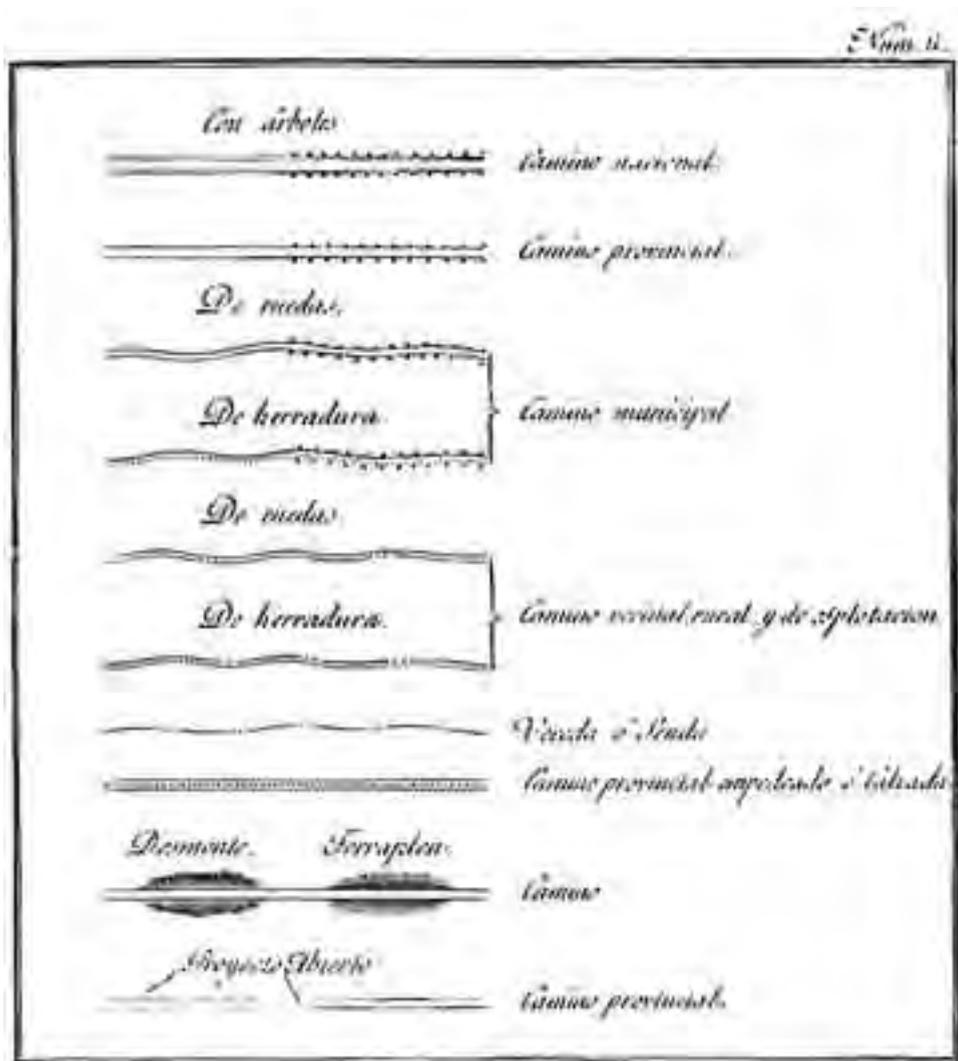
De la rectificación de la Carta geográfica al Mapa de España

Tras la primera guerra carlista, la Administración liberal arbitró medidas para obtener buena cartografía. El decreto de 23 de noviembre de 1840 firmado por el ministro de la Gobernación Manuel Cortina disponía la formación de la carta geográfica de España, o una «rectificación» de los mapas provinciales, con el objeto de elaborar una nueva división territorial. La comisión organizada al efecto estaba formada por Fermín Caballero (Gobernación), Juan Subercase (director de la Escuela de Caminos), José García Otero (profesor de la Escuela de Caminos), Antonio Montenegro (brigadier de infantería), Celestino del Piélagos (teniente coronel de ingenieros) y Manuel Quesada (capitán de navío). Su labor se prolongó el tiempo que duró el ministerio Cortina, hasta mayo de 1841 (J. BURGUEÑO, 1996, pp. 179-181 y 375-377). No perdieron el tiempo. La primera tarea era la recuperación de los mapas, planos y trabajos topográficos de las dependencias oficiales, ya que los materiales dispersos de ingenieros, marinos, arquitectos y agrimensores podrían ser útiles para la «rectificación». Era un objetivo modesto; todavía no era posible, se decía, «el levantamiento científico de un mapa». En una segunda fase, ingenieros de caminos, de minas y militares, arquitectos, maestros de obras y agrimensores debían realizar los mapas provinciales.

Poco tiempo después, el 22 de abril de 1841, la comisión publicó la «Instrucción para el orden que deben seguir en las operaciones los ingenieros encargados de la rectificación de las cartas geográficas de las provincias y de las divisiones territoriales, a fin de que haya la debida uniformidad en los trabajos». Esta, redactada seguramente por Fermín Caballero, trata de la escritura topográfica, los signos convencionales y las escalas. En todas estas cuestiones el texto loaba el modelo francés, con la finalidad de unificar el lenguaje de los mapas.

La divergencia que existe entre nuestros mapistas y dibujantes en materia de escritura topográfica es un mal cuya gravedad comprenden bien todos los profesores. La libertad ilimitada de los que construyen cartas geográficas y forman planos, así en adoptar signos convencionales a su arbitrio, como en elegir escalas diferentes, lleva consigo la molestia de acompañar una explicación peculiar a cada representación del terreno. [...] Iguales inconvenientes produce la variedad caprichosa en el carácter y tamaño de la letra, para la nomenclatura topográfica, que debe estar en relación con la importancia y cualidades de los objetos que designa.

La escala escogida para el levantamiento («plano minuta») fue la de 1:20.000, de gran detalle. Para la publicación fue elegida la escala de 1:80.000. Los ingenieros encargados de las operaciones debían recoger datos de nivelación y de puntos para las triangulaciones y lugares para medir bases «para ulteriores operaciones geodésicas, base del levantamiento científico de la Carta geográfica de España». El avance de los trabajos requeriría el establecimiento de criterios uniformes para «el dibujo de



2.3. Signos de indicación de los diferentes tipos de caminos: «Instrucción para el orden que deben seguir en las operaciones los ingenieros encargados de la rectificación de las cartas geográficas de las provincias y de las divisiones territoriales, a fin de que haya la debida uniformidad en los trabajos», en Disposiciones relativas a la rectificación del mapa de España de orden del Ministerio de la Gobernación, Madrid, I. Boix, Imprenta y Librero, 1841, fig. 6.

montañas y la representación del declive del terreno, adoptando a las que quedan expuestas las escalas de tintas del ingeniero geógrafo Mr. Bonne, que son las aprobadas en Francia». El esfuerzo para normalizar el lenguaje topográfico comprendía el grabado de 19 modelos con signos convencionales y tipos de letra.

Los instrumentos para iniciar la tarea fueron adquiridos, pero consta que el año 1843 todavía no habían sido utilizados. Ante la inacción y las dificultades para que los ingenieros compaginaran su trabajo específico con la elaboración de mapas detallados, en el mes de agosto de 1843 fue organizada una comisión mixta de ingenieros de caminos, ingenieros del Ejército, oficiales de la Armada y del Estado Mayor, con el propósito de proponer y dirigir las «complicadas» operaciones científicas. Un mes más tarde, Fermín Caballero organizó una sección central dirigida por el brigadier Manuel Monteverde, encargada de coordinar tres secciones de operaciones de 3 ingenieros y oficiales cada una con el objetivo de realizar la triangulación previa y el levantamiento topográfico. Entonces y sobre el papel, pero más acorde con los criterios del levantamiento de un mapa nacional de la época, la rectificación de la carta geográfica pasaba a una segunda fase. En el marco de estas reorganizaciones fueron realizadas algunas tareas. En concreto, una propuesta para la nivelación barométrica redactada por el ingeniero militar Joaquín Barraquer.

1.4. Geodesia, medición del territorio y mapa topográfico

Tras un paréntesis de diez años, en enero de 1853 Manuel Monteverde dirigió en el Ministerio de Fomento la Junta Directiva de la Carta Geográfica de España. Ahora el mapa debía partir de la medición de una base y el establecimiento de una red geodésica (J. CASTRO y A. TEN, 1993). En octubre de 1853 la coordinación del proyecto fue puesta en manos del Ministerio de la Guerra, con la dirección efectiva de su vicepresidente, el ingeniero militar Fernando García San Pedro. El *Mapa de España* era ahora una obra urgente y de utilidad a la hacienda, la defensa y las obras públicas (F. NADAL y L. URTEAGA, 1990; J. I. MURO, 1993). Al año siguiente se iniciaban los reconocimientos provisionales de la red geodésica por parte de personal militar (J. I. MURO, F. NADAL y L. URTEAGA, 1996). Con ello, el mapa de España daba sus primeros pasos. Y también dejó de ser un proyecto.

El 2 de enero de 1860, tras seis campañas geodésicas, los trabajos y el personal del mapa de España fueron integrados en la Comisión de Estadística General del Reino. Poco antes, en junio de 1859, dicho organismo consiguió aprobar la ley de medición del territorio que establecía dos niveles de elaboración del mapa base, el topográfico-catastral y el geodésico. Aquella norma otorgaba a la Administración el control de la cartografía en sus diferentes facetas, empezando por la topográfico-catastral e incluyendo la temática. La complejidad de la propuesta era elevada y, además, estaba en contra de otras tradiciones. El levantamiento catastral incorporaría la nivelación topográfica, que después sería ligada a la red geodésica. Esta opción se prolongó a lo largo de una década y dio lugar a una rica cartografía. La realización al mismo tiempo de un levantamiento topográfico y catastral obligó a la redacción de

detalladas instrucciones y al diseño del lenguaje de expresión cartográfica. Entre ellas podemos destacar el «Reglamento general para la formación de los planos parcelarios» del año 1862 o la «Instrucción y modelos para los trabajos topográfico-catastrales» de 1869.

Su brusco final tuvo como resultado el aplazamiento del catastro general, la dispersión de la cartografía temática y el desarrollo de un mapa base, fundamentado, en su mayor parte, en principios topográficos y geodésicos. El final de la Junta General de Estadística terminó con la Escuela del Catastro, que proporcionó las primeras promociones de topógrafos profesionales (L. URTEAGA, 2007). Los ingenieros que trabajaron en aquella institución elaboraron y publicaron diversos ejemplos de cartografía temática. El proyecto catastral abrió numerosas perspectivas profesionales en campos relacionados con la agrimensura, la enseñanza de la topografía o el grabado de mapas.

Poco después se abrieron paso el levantamiento y la edición del mapa base, tareas que desde 1870 recayeron en el Instituto Geográfico. El *Mapa topográfico de España a escala 1:50.000*, una realidad a partir de 1875, era un mapa a gran escala con más de 1.100 hojas, referencia básica para los proyectos de ingeniería y la administración territorial. Este mapa era ambicioso tanto en su fase de trabajos de campo como en su edición. En su larga elaboración fueron empleadas diferentes técnicas de levantamiento y representación. La escala elegida para la edición del mapa fue la de 1:50.000, pero la del levantamiento era más detallada (1:25.000). Las primeras nivelaciones de precisión fueron iniciadas por geodestas militares en 1868. Como punto cero de la red de nivelación fue elegido en 1871 el nivel medio del mar en Alicante. La representación del relieve se realizó con curvas de nivel, con una equidistancia de 20 metros. Las operaciones de levantamiento y el dibujo de sus contenidos fueron publicados en 1878 en las «Instrucciones para la ejecución de los trabajos topográficos», con 138 signos convencionales y «numerosos modelos que deben conducir al buen orden y uniformidad».

La experiencia de otros países mostraba que sería una tarea larga y costosa en un país de relieves accidentados. Como sabemos, las tareas de levantamiento geodésico fueron iniciadas en 1854 y las primeras hojas del mapa se publicaron en 1875. La colección quedó completada en la segunda mitad del siglo xx. Para entonces, el mapa topográfico nacional español tenía varias ediciones y se habían compilado diferentes series (L. URTEAGA y F. NADAL, 2001).

El diseño de este documento no obedeció solo a criterios topográficos. Como han mostrado los geógrafos Luis Urteaga y Francesc Nadal, su elaboración y su contenido incluyeron tareas y requerimientos de carácter catastral y administrativo. De las operaciones de planimetría y nivelación de cualquier levantamiento topográfico, la parte planimétrica tenía una gran relevancia desde el punto de vista fiscal. Así lo muestra el contenido de la leyenda del mapa. Por otro lado, el ritmo de publicación de esta cartografía de base fue muy lento. En 1936, al comienzo de la Guerra Civil, estaban publicadas 554 hojas, un 50 % en sesenta y seis años. Los métodos de levantamiento y

SIGNOS TOPOGRÁFICOS CONVENCIONALES	
EMPLEADOS EN EL	
INSTITUTO GEOGRÁFICO Y ESTADÍSTICO.	
	Alturas de un metro Alturas de 20 metros.
	Profundidades de un metro Profundidades de 20 metros.
	Montañas de un metro Montañas de 20 metros.
	Ríos de un metro Ríos de 20 metros.
	Arroyos de un metro Arroyos de 20 metros.
	Canales de un metro Canales de 20 metros.
	Carreras de un metro Carreras de 20 metros.
	Carriles de un metro Carriles de 20 metros.
	Telegrafos de un metro Telegrafos de 20 metros.
	Ferrocarril de un metro Ferrocarril de 20 metros.
	Muros de un metro Muros de 20 metros.
	Fosos de un metro Fosos de 20 metros.
	Linde de un metro Linde de 20 metros.
	Ferrocarril de un metro Ferrocarril de 20 metros.
	Ferrocarril de un metro Ferrocarril de 20 metros.
	Ferrocarril de un metro Ferrocarril de 20 metros.
	Ferrocarril de un metro Ferrocarril de 20 metros.
	Ferrocarril de un metro Ferrocarril de 20 metros.
	Ferrocarril de un metro Ferrocarril de 20 metros.

2.4. Signos topográficos convencionales empleados en el Instituto Geográfico y Estadístico: Litografía del Depósito de la Guerra, en Julián Suárez Inclán; Tratado de topografía, Madrid, Impr. y Lit. del Depósito de la Guerra, 1891, 2.^a ed., lám. 49.

de edición explican en buena medida la lentitud en la presentación de resultados. La edición litográfica a cinco colores otorgaba una gran calidad de impresión, pero a costa de alargar el proceso de publicación. En la década de 1870 no era frecuente que los mapas topográficos de otros países incorporaran el color, y en su gran mayoría eran monocromos y grabados en cobre (ibídem). A principios del siglo xx el litografiado fue abandonado. Las series de los mapas nacionales del Ochocientos eran ya documentos anónimos. El mapa base español siguió esa tradición, aunque por un tiempo incorporó debajo del recuadro de cada hoja los nombres de los grabadores.

El mapa topográfico español respondía a múltiples intereses ya expuestos y era herencia de los sucesivos proyectos anteriores. Sus contenidos constituían una inmensa base de datos geográfica, destinada a colaborar en la modernización del país. De forma paralela, aparecieron en España nuevos lenguajes y formas de expresión que están en el origen de la cartografía temática, como, entre otras, la geológica y la forestal, objetos del siguiente apartado.

II

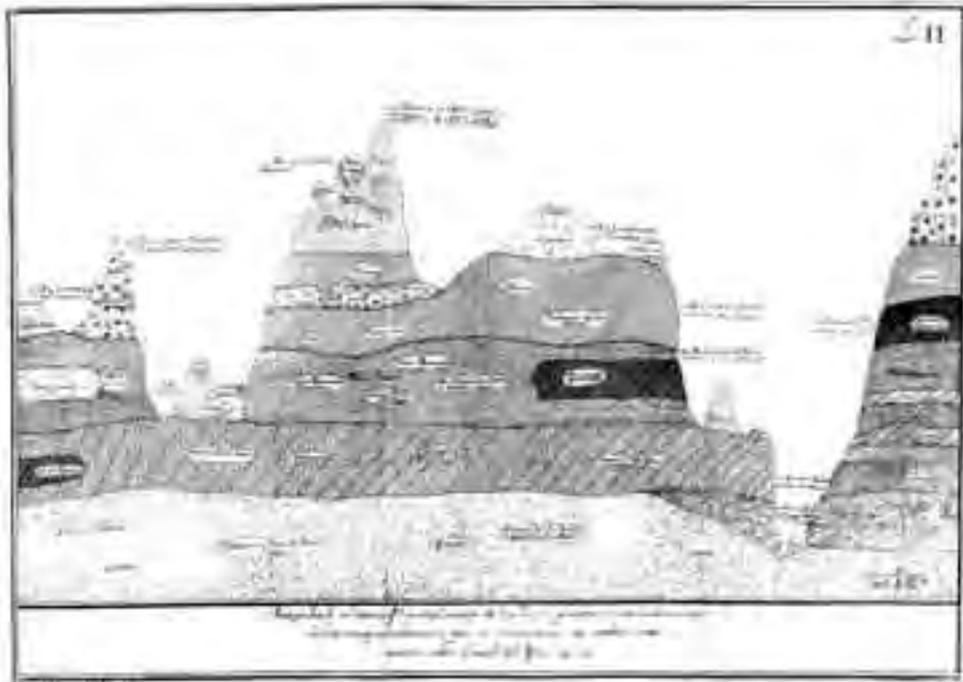
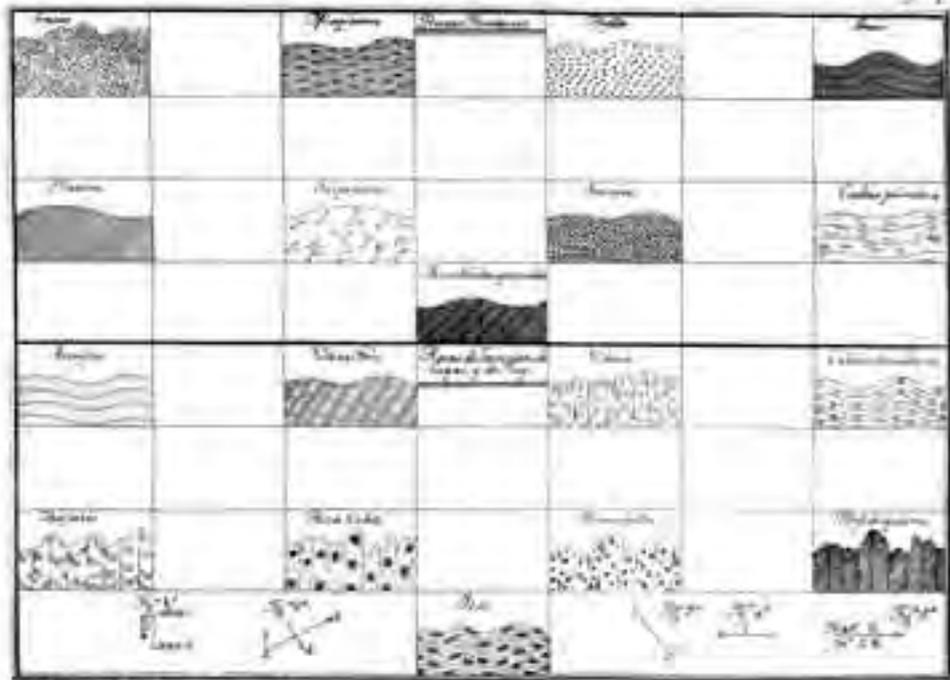
LAS MINAS, LOS MONTES Y EL LENGUAJE CARTOGRÁFICO

En 1804 el naturalista alemán Alexander von Humboldt introdujo el concepto de *pasigrafía geológica*, que ilustró gráficamente en varios grabados contenidos en el segundo volumen de la obra de Andrés Manuel del Río *Elementos de orictognosia, o del conocimiento de los fósiles, dispuestos según los principios de A. G. Werner* (vol. I, 1795; vol. II, 1805). Humboldt vinculaba la pasigrafía geológica al desarrollo del conocimiento geognóstico. La comprensión precisa de los fenómenos geológicos —indicaba— necesita un lenguaje geológico:

Mis planos pasigráficos muestran al geognosta las rocas que son dominantes o subordinadas, su rumbo y echado según es su estratificación regular o irregular, su superposición efecto de su antigüedad, su grueso, la mayor o menor altura a que se hallan, y la elevación absoluta de las montañas y valles que forman, su división en pilares, en bolas concéntricas, y en chapas &c. (A. von HUMBOLDT, 1805, p. 161).

Es decir, la pasigrafía constituye un lenguaje universal que utiliza los símbolos como medio de expresar ideas y conceptos geológicos³. Para ello, recurrirá a las proyecciones verticales, es decir, perfiles, y recomendará un uso moderado de los colores, prácticamente reducidos a tres, verdinegro, blanco amarillento y rojo, para repre-

³ El término *pasigrafía* hace referencia a un sistema de escritura universal con el objetivo de comunicarse a través de símbolos. Uno de los padres de esta idea fue Leibniz. En los años que siguieron a la Revolución francesa se hizo muy popular, en especial después de la propuesta de Joseph de Maimieux en 1797, que consideraba a la pasigrafía como un instrumento para extender los principios revolucionarios por todo el mundo y para erradicar la ignorancia (J. M. FERNÁNDEZ CEPEDAL, 1989, pp. 41-48).



2.5. Láminas de la Introducción a la pasigrafía geológica de Alexander von Humboldt, incluidas en el segundo volumen de los Elementos de orictognosia (1805) de Andrés Manuel del Río. Se propone: 1) un sistema gráfico de representación de los diferentes tipos de rocas; 2) un sistema de representación de la antigüedad relativa y la estratificación de las rocas primitivas.

sentar las rocas del *trap* (formaciones basálticas), las rocas secundarias y las rocas primarias, respectivamente; para el resto de formaciones utiliza diversos signos que recuerdan la roca representada (A. von HUMBOLDT, 1805, pp. 167-173). Sobre esta cuestión volvió a insistir años después, en 1823, en su *Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hémisphères*, obra que tenía la pretensión de abarcar toda la geognosia positiva, según señala en el prólogo (ídem, 1823, pp. v-vi).

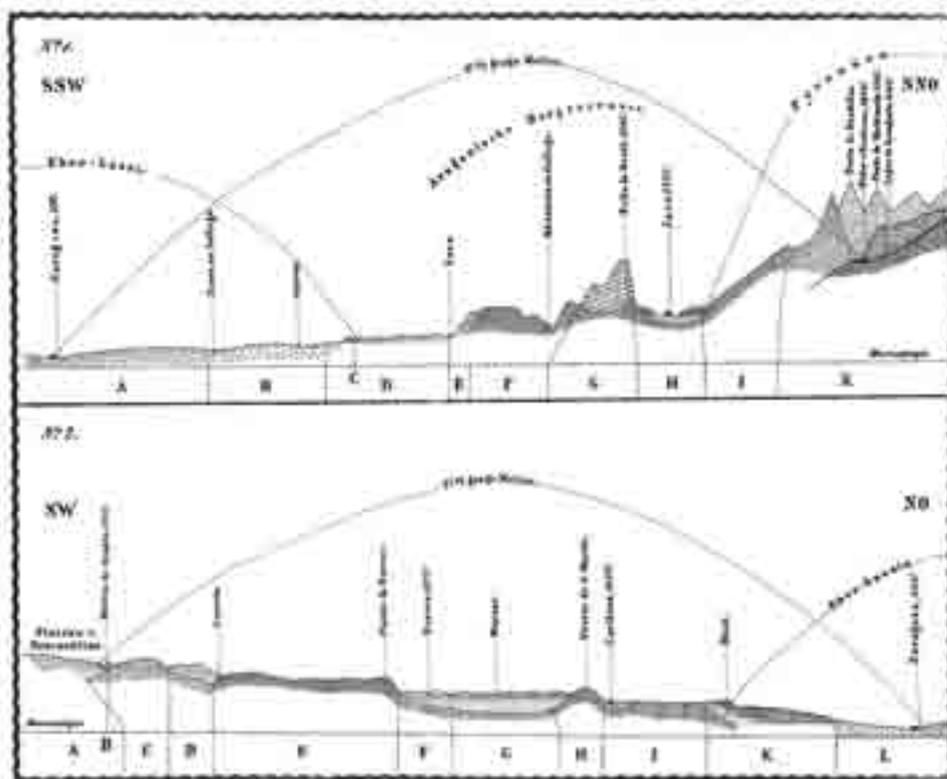
Por estos años, la pasigrafía geológica había desarrollado, codificado y normalizado sus métodos de representación visual. Fue el escocés Robert Jameson, en un artículo publicado en 1808 en las *Memoirs of the Wernerian Natural History Society* titulado «On colouring geognostical maps», quien formalmente estableció las normas. Jameson parte de la variedad de sistemas de representación existentes en aquel momento y de la necesidad de unificar criterios y elaborar ciertas reglas de aplicación general (R. JAMESON, 1808, pp. 149-161). Las cuestiones relacionadas con el problema de la sucesión de capas de las diversas formaciones geológicas fueron abordadas desde los últimos años del siglo XVIII por el geólogo inglés William Smith, cuya contribución fue decisiva para el nacimiento de la paleontología y de la propia geología moderna.

Estas ideas y estas técnicas de representación llegaron a España en las primeras décadas del siglo XIX a través de los diversos pensionados en la Escuela de Minas de Freiberg. La modernización de la minería española vino de la mano de los trabajos, escritos y magisterio de los hermanos Elhuyar, de Del Río, de Herrgen y de algunos otros. En lo referente a la producción cartográfica debe mencionarse la figura de Carlos de Gimbernat (M. WEIDMANN y L. SOLÉ, 1983; M.^ª D. PARRA, 1993). Su labor cartográfica fue muy destacada, por ejemplo en el uso de la litografía, pero quedó circunscrita fuera de España.

II.1. *En la estela de Humboldt*

Las diversas periodizaciones efectuadas del conocimiento geológico de España (M. FERNÁNDEZ DE CASTRO, 1874) consideran el año 1825 una fecha clave. En esa línea también fueron relevantes las fechas de 1849 y 1873. En la primera fecha se establecieron las bases legales de la modernización de la minería; en la segunda fue organizada la Comisión para el Estudio del Mapa Geológico de Madrid y General del Reino; y, en la tercera, la Comisión del Mapa Geológico de España (L. MALLADA, 1897).

A raíz del decreto de 1825 comenzaron a forjarse proyectos sobre el levantamiento del *Mapa geológico de España*, con resultados muy limitados en un primer momento. En 1831 Pedro Vallejo recibió el encargo de levantar el *Plano geológico de España*, de cuyos trabajos se sabe muy poco, y en 1832 Guillermo Schultz iniciaba el estudio geológico de Galicia, labor que concluyó dos años después con su *Mapa petrográfico* de la región gallega. Durante el mismo período, algunos ingenieros de minas, en su mayoría formados en Freiberg —Ezquerria del Bayo, Amar de la Torre, Bauzá y otros—, realizaron una serie de estudios parciales que no respondían a un proyecto común. Hasta mediados de siglo no empezaron a obtenerse algunos resultados de alcance más global, cuya fecha de referencia puede ser precisamente 1850, momen-



2.6. Perfil del relieve peninsular, desde la Meseta hasta los Pirineos, pasando por Zaragoza, en la mejor tradición humboldtiana, publicado por Moritz Willkomm en su obra *Die Strand- und Steppengebiete der iberischen Halbinsel und deren Vegetation*, 1852.

to en que Joaquín Ezquerro del Bayo publica, en alemán, su *Mapa geológico de España* (G. LEONHARD, 1851). Se trata de un trabajo de recopilación y puesta al día del conocimiento geológico de los ingenieros de minas y científicos de otros países. El documento de Ezquerro todavía contiene numerosos vacíos sin información geológica.

En 1844, el naturalista alemán Moritz Willkomm llegó a España para estudiar la vegetación peninsular, aconsejado por el botánico Kunze, director del Jardín Botánico de Leipzig, decisión en la que también influyeron algunos problemas políticos que el joven Willkomm había tenido en su país. Permanecería dos años en España, y después volvería en un par de ocasiones. La primera de ellas fue en 1850, cuando se interesó por el estudio de la vegetación de los arenales de la costa y de lo que denominó *zonas de estepa* peninsulares. El resultado de la investigación fue la publicación de la obra *Die Strand- und Steppengebiete der iberischen Halbinsel und deren Vegetation* (1852), que iba acompañada de un excelente mapa en color en el que, sobre una base geológica, incorporaba diversas informaciones de tipo botánico.

Willkomm tomó como referencia los materiales de base editados por los cartógrafos Heinrich Berghaus, Auguste-Henri Dufour y Daniel Sharpe, y para la parte geológica partiría del mapa peninsular de Ezquerro. Sin embargo, de su contenido divergiría en cuestiones como la hipótesis de la metamorfosis de las pizarras. Sobre este tema, Ezquerro del Bayo seguía las ideas de Lyell, utilizando una coloración unitaria en los mapas. El naturalista alemán, en cambio, dudaba del origen sedimentario de aquellas formaciones. Willkomm demostró tener un conocimiento directo de los trabajos geológicos llevados a cabo en la Península, como por ejemplo de las observaciones de Le Play sobre Extremadura y los de Schultz sobre Asturias (M. WILLKOMM, 1852a).

El de Willkomm fue el mapa geológico peninsular publicado más completo hasta 1864, cuando Amalio Maestre y Verneuil y Cullomb editarán los suyos. En él se incluyen, además, características agronómicas, orográficas y fitogeográficas, reflejo de su concepción global. Quizás por ello la influencia del trabajo de Willkomm fue inmediata y actuó en diferentes sentidos. Así fue entre los miembros de la Comisión del Mapa Geológico de 1849, en especial en Vicente Cutanda, responsable de las labores botánicas, autor del *Mapa geográfico-botánico de la provincia de Madrid* (1860), en el que, sobre el mapa geológico provincial de Casiano de Prado, dibuja, siguiendo el modelo gráfico —y esquema teórico— de Willkomm, la distribución de la vegetación de la provincia.

Agustín Pascual, ingeniero de montes formado en Tharandt y principal responsable de la introducción de la enseñanza forestal en España, difundió rápidamente la obra de Willkomm sobre las estepas, de cuya parte fitográfica publicó una compilación en el *Diccionario de agricultura práctica y economía rural* de Collantes y Alfaro, en la entrada «Sosa», hacia 1853-1854. Unos años después, en 1859, el *Anuario estadístico de España* incluyó una influyente memoria suya titulada «Reseña agrícola de España», en la que de nuevo recurre a Willkomm para proceder a una regionalización botánica y agrícola-forestal de la Península. Este será durante mucho tiempo un texto de referencia para los ingenieros de montes.

También los ingenieros de minas prestarán atención a las aportaciones de Willkomm. En 1852 Álvarez de Linera publicaba la parte orográfica del trabajo del naturalista alemán con el título de «Bosquejo orográfico de la Península Ibérica» (M. WILLKOMM, 1852b). Un año después la *Revista Minera* recogía la traducción de Álvarez de Linera de la segunda parte del primer bloque de la obra de Willkomm titulado «Sobre la constitución geológica de España» (M. WILLKOMM, 1853). Con la traducción de estos textos y la compilación de Pascual, un par de años después de editarse el libro había sido ampliamente difundido por dos de las principales corporaciones técnicas del momento, los ingenieros de minas y los de montes. En especial, los ingenieros de montes mantendrán una relación disciplinar estrecha con Willkomm, que en 1855 pasó a desempeñar una plaza de profesor en la Academia Forestal de Tharandt, donde permaneció hasta 1868. En efecto, fue una práctica frecuente de la administración forestal española mandar titulados a completar su formación a la referida acade-

mia, de tal modo que fueron discípulos directos de Willkomm un número no desdeñable de los ingenieros de montes que concluyeron sus estudios entre 1855 y 1868.

II.2. *Medir, catalogar, representar*

La promulgación de la ley de medición del territorio en 1859 impulsaría diferentes variantes de la cartografía temática, como la geológica, la forestal, la agronómica y la hidrológica, coordinadas desde la Junta General de Estadística. En 1865 los trabajos especiales de la Junta pasaron a depender de Fomento (J. I. MURO, F. NADAL y L. URTEAGA, 1996, pp. 193-217). La reanudación de estos trabajos se hizo mediante comisiones de base corporativa, es decir, dependiendo del Cuerpo de Minas, en un caso, y del de Montes, en el otro. Francisco García Martino dirigiría la Comisión del Mapa Forestal desde 1868 hasta su disolución en 1887. Este ingeniero había desempeñado tareas parecidas en el seno de la sección de operaciones especiales de la Junta (V. CASALS, 1996).

Por su parte, la Comisión del Mapa Geológico quedó constituida unos años después, en 1875, dirigida por Manuel Fernández de Castro. El carácter corporativo de esta comisión suscitó algunos problemas. En la antigua Comisión de 1849 y durante un tiempo en la Junta General de Estadística participaron algunos geólogos formados como naturalistas en la universidad, en especial el valenciano Juan Vilanova y Piera. La dirigida por Fernández de Castro prácticamente excluyó las colaboraciones externas al Cuerpo de Minas; casi sin excepción, los sucesivos y numerosos trabajos que se fueron publicando fueron de ingenieros de minas⁴.

El lenguaje cartográfico constituyó uno de los problemas clave. A finales de la década de 1870 se estaba desarrollando en todo el mundo una intensa labor en el terreno de la cartografía geológica. Aunque existía un tronco común de criterios relativos a la representación, cada país presentaba peculiaridades en la forma de entenderla, en especial en el uso de los colores. Incluso en un mismo país podían utilizarse criterios diferentes según los autores, e incluso un mismo autor en momentos o territorios distintos podía variar sus criterios. Había además aspectos no resueltos relativos a tipologías y periodizaciones.

En una reunión de la Asociación Americana para el Progreso de las Ciencias, durante la Exposición Universal de Filadelfia de 1876, se lanzó la idea de celebrar un congreso geológico internacional en París. El tema central del encuentro sería la cuestión de la representación y la nomenclatura geológicas. El congreso se celebró en 1878, presidido por el francés Hébert. Una de las dieciséis vicepresidencias estuvo ocupada por Juan Vilanova, profesor de Geología de la Universidad de Madrid⁵.

⁴ Una de las pocas excepciones es la memoria, y el consiguiente mapa geológico, de la provincia de Guadalajara, cuyo autor, Carlos Castel, era un destacado ingeniero de montes.

⁵ Para las contribuciones españolas a los congresos internacionales de Geología —y los conflictos corporativos en torno a ellos— nos hemos basado sobre todo en las correspondientes actas. En

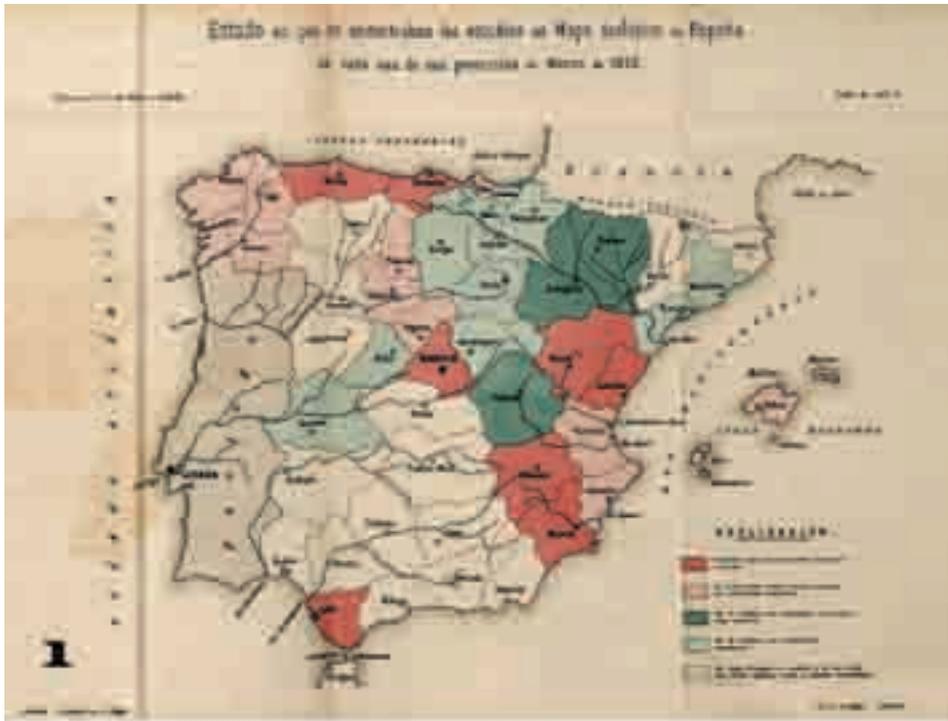
En el Congreso de París se acordó la celebración de reuniones periódicas cada tres años y fue escogida la ciudad italiana de Bolonia como sede del siguiente encuentro, el de 1881. Además, a la vista de que la unificación de la representación y la nomenclatura era una labor compleja y que requería tiempo, se decidió nombrar dos comisiones internacionales para estudiarlas. La primera, sobre la unificación de la representación geológica, estaba presidida por el canadiense Selwyn, mientras que la segunda, relativa a la unificación de la nomenclatura, la presidía el francés Hébert y entre sus integrantes figuraba Juan Vilanova.

Al Congreso de Bolonia asistió una amplia representación española formada por once ingenieros de minas y geólogos universitarios. De estos, solamente cuatro participaron efectivamente en las sesiones, el coronel Francisco de Azcárraga, Daniel de Cortázar, Emilio Moreno y Juan Vilanova; es decir, un militar, dos ingenieros y un geólogo. Los ingenieros, además, formaban una delegación propia del Cuerpo de Minas cuya representación recaía en Cortázar y Moreno. Por su parte, Vilanova, además de uno de los vicepresidentes del Congreso, era el presidente de la subcomisión de lenguaje hispanoportuguesa, de la que formaban parte Federico Botella, Melitón Martín y José María Solano.

Había, pues, una clara fractura de tipo profesional en lo que de hecho eran dos delegaciones, sin que la presencia de Botella en el grupo de Vilanova pudiera atemperarla. Más bien al contrario: Botella en aquel momento había tenido serios enfrentamientos de tipo doctrinal con Lucas Mallada y, en general, con la Comisión del Mapa Geológico, en cuyo *Boletín* apareció, en 1881, un editorial con durísimos comentarios sobre el mapa geológico de España que Botella había publicado hacía poco, que consideraban lleno de errores, anticuado y prácticamente inútil. Quizás no está de más señalar que la Comisión Ejecutiva del Mapa Geológico, que editaba el *Boletín*, la dirigía Manuel Fernández de Castro, y que de ella formaba parte Daniel de Cortázar.

En el debate de los dos temas centrales del Congreso, Cortázar y Vilanova presentaron comunicaciones por separado y defendieron puntos de vista diferentes en aspectos sustanciales. En el tema de la representación, Cortázar presentó un texto titulado «Sur le coloriage et les notations des cartes géologiques», en el que defendía de

concreto, *Congrès Géologique International. Compte rendu de la 2^eme session, Bologne, 1881*; *Congrès Géologique International. Compte rendu de la 3^eme session, Berlin, 1885*; *Congrès Géologique International. Compte rendu de la 4^eme session, Londres, 1888*; *Congrès Géologique International. Compte rendu de la VII session, St. Pétersbourg, 1897*. También son de interés para este objeto, por representar una información de primera mano sobre los mismos, algunas partes de las siguientes obras de Juan Vilanova y Piera: *Los congresos científicos: Chalons, Berna, París, Lisboa y Argel*, Madrid, Impr. del Colegio Nacional de Sordomudos y de Ciegos, 1884; *De Madrid a Amsterdam pasando por Zúrich, Rouen y Charleville: congresos científicos de 1883*, Madrid, Impr. del Colegio Nacional de Sordomudos y de Ciegos, 1888; *Ginebra y Nancy: congresos científicos celebrados en 1886*, Madrid, Impr. del Colegio Nacional de Sordomudos y de Ciegos, 1890; *Congresos científicos de 1891*, Madrid, Impr. de Ricardo Rojas, 1892.



2.7. Estado de los trabajos del mapa geológico en 1873 (1) y del mapa forestal en 1872 (2): En uno y otro caso los trabajos se desarrollaron inicialmente sobre todo en la mitad norte peninsular; lo que no dejó de suscitar algunas críticas. Fuentes: 1) Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España, 1883; 2) V. CASALS, 1996.

SIGNOS GEOLÓGICOS CONVENCIONALES

Terrenos primarios	$\text{I} = \text{II}$	<i>Granito</i>
	$\text{III} = \text{IV}$	<i>Gneiss</i>
	$\text{V} = \text{VI}$	<i>Schistose</i>
	$\text{VII} = \text{VIII}$	<i>Amfibolita</i>
	$\text{IX} = \text{X}$	<i>Quartzita</i>
Terrenos secundarios	$\text{XI} = \text{XII}$	<i>Basalto</i>
	$\text{XIII} = \text{XIV}$	<i>Andesita</i>
	$\text{XV} = \text{XVI}$	<i>Lava</i>
	$\text{XVII} = \text{XVIII}$	<i>Trasvando</i>
	$\text{XIX} = \text{XX}$	<i>Basalto</i>
Terrenos terciarios	$\text{XXI} = \text{XXII}$	<i>Esqueleto</i>
	$\text{XXIII} = \text{XXIV}$	<i>Alpino</i>
	$\text{XXV} = \text{XXVI}$	<i>Alpino</i>
	$\text{XXVII} = \text{XXVIII}$	<i>Alpino</i>
	$\text{XXIX} = \text{XXX}$	<i>Alpino</i>
Terrenos cuaternarios	$\text{XXXI} = \text{XXXII}$	<i>Aluvial</i>
	$\text{XXXIII} = \text{XXXIV}$	<i>Actual</i>
Terrenos hipogénicos		<i>Acidulo antiguo ácido</i>
		<i>Al. al. ácido</i>
		<i>Acidulo antiguo ácido</i>
		<i>Al. al. ácido</i>

Fig. 1. Signos geológicos convencionales.

2.8. Propuesta gráfica efectuada por Daniel de Cortázar para su utilización en los mapas geológicos, presentada inicialmente en el Congreso Geológico Internacional de Bolonia (1881) y luego publicada en el Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España en 1882.

manera muy razonada la gama de colores que se había de utilizar en los mapas geológicos, así como un sistema de notación de las capas ciertamente ingenioso y que recuerda en su idea de fondo —aunque no tanto en su propuesta práctica— a la pasigrafía algorítmica de Humboldt. La postura de Vilanova fue, a lo largo del debate y sobre todo en algunas reuniones posteriores, apoyar una propuesta parcial elaborada por José Mac-Pherson, que no fue aceptada. En cuanto a la nomenclatura, Cortázar presentó una comunicación titulada «Sur la nomenclature géologique». En ella defendía la secuencia estratigráfica siguiente: *serie-sistema-piso-zona-capa*, mientras que Vilanova, en cuanto presidente de la subcomisión de lenguaje hispanolusa, presentó un informe que proponía la secuencia *serie-terreno-miembro-piso-zona*, claramente diferente; la resolución adoptada por el Congreso fue la de *grupo-sistema-serie-piso-tramo*.

Estos planteamientos del debate sobre el lenguaje de expresión tuvieron repercusión en nuestro país. Cortázar en 1882 publicó en el *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico* un artículo titulado «Clasificación y colorido en los mapas geológicos», la versión castellana de sus dos comunicaciones al Congreso de Bolonia con la correspondiente lámina con la gama de colores propuesta. El hecho de sacarlo a la luz en el *Boletín* ya es significativo e indica la voluntad de convertirlo en el modelo para las memorias de los mapas geológicos españoles. Lo confirma que en 1885 incluyera en su *Bosquejo físico-geológico y minero de la provincia de Teruel* la siguiente nota en la primera página:

Como a pesar del Congreso celebrado en 1881 en Bolonia para la unificación del colorido y lenguaje geológicos no se ha logrado establecer aún una clasificación, seguiremos en este trabajo la que nosotros propusimos en el mismo Congreso y ha sido aceptada en varias publicaciones de la Comisión del Mapa Geológico como la más completa y definida. Entenderemos que *serie, formación y época* son sinónimos en geología, dividiéndose en *sistemas, terrenos o periodos*, que a su vez se subdividen en *tramos o edades*, en que pueden distinguirse diversas *zonas* u *horizontes*, además de los bancos, capas o lechos que los constituyen. (D. de CORTÁZAR, 1885).

A pesar de que no sea del todo cierto que en el Congreso de Bolonia no se hubiera establecido una clasificación, Cortázar estaba señalando una determinada orientación. En cuanto al colorido de los mapas, la propuesta de Cortázar, que probablemente ya era de uso más o menos generalizado en la Comisión, fue la utilizada a partir de aquel momento. Cuando a principios de los noventa vea la luz el mapa geológico de España a escala 1:400.000, en su leyenda lucirán los colores propuestos por Cortázar. Años después, Mallada, en su discurso de ingreso en la Academia de Ciencias, calificará el artículo de Cortázar como una de sus contribuciones más importantes (L. MALLADA, 1897).

II.3. *La ingeniería de montes y las nuevas técnicas de representación cartográfica*

En la cartografía forestal española del siglo XVIII se representaba la vegetación boscosa con el recurso a signos ideográficos, consistentes por lo general en pequeñas

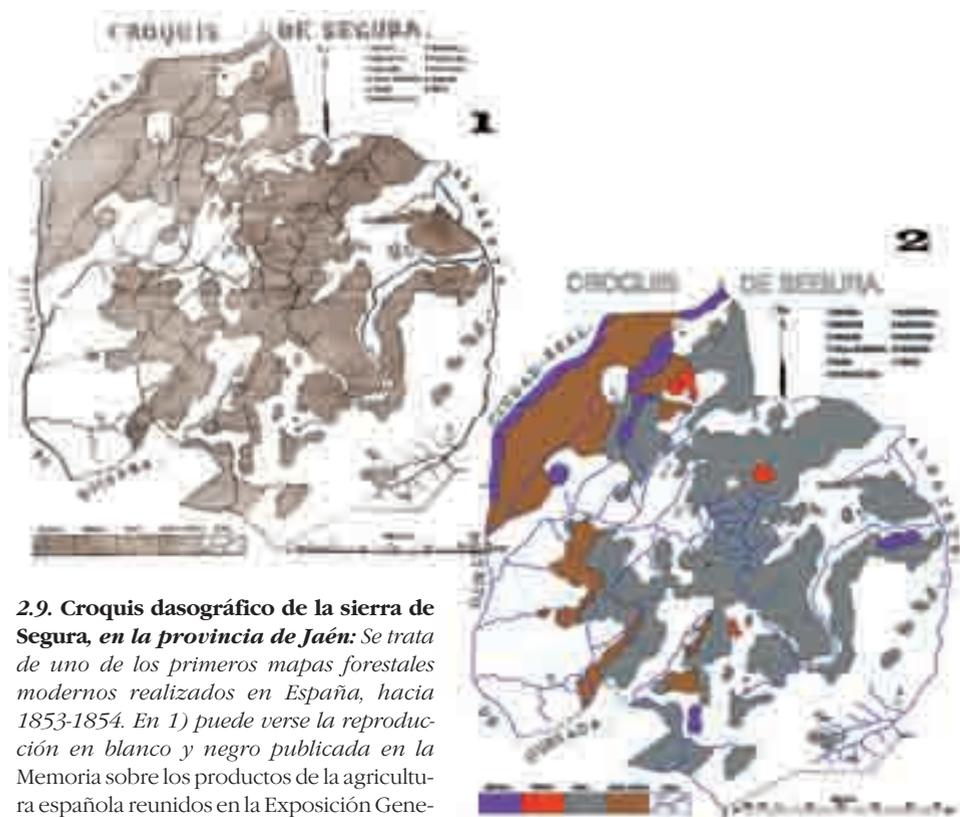
figuras de árboles repartidas por toda la superficie donde existían montes. Esta técnica era también utilizada en Alemania por la misma época, pero en las últimas décadas del siglo un oficial de artillería prusiano, Karl Wilhelm Hennert, que había pasado a desempeñar la dirección general de Ordenación de la administración forestal de Prusia, renovó totalmente la técnica de representación al sustituir los signos ideográficos por tintas planas para diferenciar las especies forestales y tonos diferentes para indicar la gradación de edad del arbolado. No conocemos el momento preciso del cambio, pero puede señalarse, a modo indicativo, que las principales obras de Hennert fueron publicadas en 1787 y 1791 (A. PASCUAL, 1870, pp. 201-205).

En tierras de Sajonia, el ingeniero militar Schelling sentó las bases de las escalas de los planos destinados a las labores de ordenación: 1:20.000 para el plano especial y 1:5.000 para el plano de rodales (ibídem, p. 387). En 1795, el forestal Jorge Luis Hartig introdujo diversas innovaciones en los métodos de representación cartográfica, con indicaciones de la calidad del suelo a través del uso de tintas planas. Estableció una distinción entre suelos buenos, casi buenos, medianos, menos que medianos, malos y muy malos, indicados con los colores pardo, pardo claro, amarillo, amarillo claro, azul y azul claro, respectivamente (ibídem, p. 438).

Los avances de Hartig en esta materia fueron asumidos por Heinrich Cotta, el padre de la ciencia forestal, casi sin modificaciones. Cotta asignó los colores que se habían de utilizar en las principales especies del monte alto: amarillo para los robles, pardo para las hayas, carmín para el abedul, verde para los alisos, violeta para los álamos temblones y tinta china para los pinos y abetos. También señalaba la especie con las correspondientes iniciales. Los rodales con especies mezcladas incorporaban el color de la especie más numerosa, salpicada con signos ideográficos de la especie mezclada; los pastos y prados, con verde claro salpicado de puntitos negros; el terreno agrícola permanente, con trazos sinuosos en negro, y el cultivo agrario temporal, con trazos paralelos en amarillo. Los claros eran representados en blanco.

Es difícil saber si estas técnicas fueron desarrolladas de forma independiente por los forestales alemanes o consistieron en una adaptación de métodos gráficos utilizados por los ingenieros de minas y la cartografía geognóstica. En todo caso, la utilización de tintas planas en los mapas geognósticos y dasográficos fue contemporánea, en Alemania, durante las últimas décadas del siglo XVIII.

Los elementos visuales de la cartografía forestal fueron establecidos en España en el mismo momento en que se abordaron los primeros trabajos de reconocimiento territorial, es decir, desde 1852, recién salidos los primeros ingenieros titulados de la Escuela de Montes de Villaviciosa de Odón. Una «Instrucción especial» de marzo de 1853 establecía los criterios a aplicar en las memorias de reconocimientos, que desde un punto de vista cartográfico debían contener: *a*) un croquis general «tomando por base los mapas de Dufour», *b*) un croquis geológico, *c*) «un croquis del suelo de cada monte, distinguiendo únicamente la especie, y empleando las tintas y signos convencionales» indicados en un anexo de la «Instrucción».



2.9. Croquis dasográfico de la sierra de Segura, en la provincia de Jaén:

Se trata de uno de los primeros mapas forestales modernos realizados en España, hacia 1853-1854. En 1) puede verse la reproducción en blanco y negro publicada en la Memoria sobre los productos de la agricultura española reunidos en la Exposición General de 1857 (Madrid, 1859-1861); en 2), el mismo mapa reconstruido digitalmente empleando los colores al uso en la época por el Cuerpo Forestal (V. CASALS, 1996).

Los trabajos de cartografía forestal desarrollados en el seno de la Comisión —luego Junta— General de Estadística tenían que proporcionar una idea sumaria de la extensión y la distribución de la riqueza forestal del país (A. PASCUAL, 1872, p. 13), de lo que la misma denominación de *avance del mapa forestal* ya es sugerente. El esquema básico debía consistir en la determinación de los límites de las zonas y regiones, sin duda siguiendo los criterios establecidos por Pascual en su «Reseña» de 1859, la determinación de las principales especies botánicas de interés forestal y la elaboración de una somera estadística de los montes fundamentalmente referida a su superficie, su producción y su valor (COMISIÓN DE ESTADÍSTICA GENERAL DEL REINO, 1860, pp. XXII-XXIII). En 1860, cuando se iniciaron estos trabajos, se preveía que podrían durar unos cinco años, y, de hecho, en diciembre de 1862 la Junta de Estadística aprobó un dictamen en el que se proponían «los medios más adecuados de llevar a cabo en breve plazo el Bosquejo Dasográfico de la Península», para lo cual habían de nombrarse por parte de la Dirección de Operaciones Especiales seis personas que colaborasen en la tarea.

El componente básico de la cartografía forestal era el de los mapas de alcance provincial trazados a menor escala, que en 1861 se acordó fuera de 1:200.000 o 1:400.000, según conviniera a la publicación. En 1863 se decidió que todos los mapas geológicos, forestales e hidrológicos fueran a 1:400.000. A pesar de todo, los *Bosquejos dasográficos* de Oviedo y Santander, publicados en 1862, estaban a escala 1:250.000. Estos *Bosquejos* constituyen los ejemplos más destacados de la cartografía forestal publicada durante este período. La representación de la vegetación sigue los criterios establecidos por la ciencia forestal alemana desde finales del siglo XVIII, en especial por Hartig. No en vano su autor, Francisco García Martino, se había formado como cartógrafo forestal en Tharandt, donde coincidió con Willkomm (V. CASALS, 1996). Fueron la expresión de la mayoría de edad en España de esta técnica, de larga tradición entre los forestales, que solo mucho más tarde se extendería entre otros cultivadores del estudio de los vegetales, como los botánicos. En 1860 Cutanda aún utilizaba signos iconográficos, y en realidad habrá que esperar al enfoque *ecológico* y a la aparición de la noción de *asociación vegetal* para que los botánicos recurran a representaciones cartográficas parecidas a las de los forestales, y probablemente inspiradas en ellas.



2.10. Plano de rodales del monte La Garganta de los propios del Espinar, debido a los ingenieros de montes Andrés Antón y Villacampa y Agustín Romero. Trazado a escala 1:20.000, fue publicado por la Junta General de Estadística en 1863. Junto con los *Bosquejos dasográficos* de Oviedo y Santander del año 1862, de Francisco García Martino, es la mejor muestra de la cartografía forestal durante el período de la Junta General de Estadística.

El interés de los forestales por la cartografía de los montes no se limitaba a una representación de los mismos a pequeña o mediana escala, sino que se extendía también a una escala más detallada que facilitara el desarrollo de una estadística forestal rigurosa, así como fundamento para los denominados *planes dasocráticos*, es decir, la ordenación de montes. Ya se ha señalado con anterioridad que hacia 1800 en Sajonia se habían establecido estas escalas; así, para el plano de rodales la escala era 1:20.000. Una de las publicaciones cartográficas de tema forestal de la Junta General de Estadística, el *Plano de rodales del monte La Garganta, de los Propios del Espinar*, responde a esta concepción y a este enfoque. Fue realizado por Andrés Antón Villacampa y Agustín Romero y publicado en una hoja cromolitografiada por la Junta en 1863. Este plano contiene el *apeo de rodales*, es decir, la determinación de estos, entendiendo por *rodal* aquella parte del monte que se diferencia de las contiguas por la especie, por la edad de los árboles, por su calidad o por su estado (J. JORDANA, 1875).

Las «Instrucciones de servicio para el Cuerpo de Ingenieros de Montes y sus dependencias» de 1874 establecieron nuevas reglas. Las más relevantes para la formación de los croquis de los montes tenían relación con las operaciones de levantamiento planimétrico y de expresión gráfica:

1. Después de marcar su perímetro, apreciado por los medios que da la topografía elemental para la formación de un simple croquis, se indicarán las líneas de división y reunión de aguas; las primeras con líneas de trazos carmín; las segundas, o bien ríos y arroyos, con azul de Prusia; el perímetro de los rodales se marcará solamente por clase de edad, limitándose a la vez los rasos y calveros.
2. En cada rodal se expresará: a) la especie con una tinta convencional; b) la clase de edad dominante con la intensidad de dicha tinta, correspondiendo la más clara a la edad más joven; c) el número de orden del rodal, empezando por el ángulo NO del plano, siguiendo al N, al ES y OE en forma espiral.
3. Las tintas convencionales serán:
Tinta de china para las coníferas de los géneros *Pinus* y *Abies*; amarillo gutta-percha para las hayas; rojo o siena para las especies de robles; morado para las encinas; carmín para el abedul; pardo para el castaño; azulado para el enebro; blanco para los rasos; verde para los pastos; y siena con rayas verdosas para las tierras de labor; las demás indicaciones se harán con arreglo a los signos topográficos.
4. En cada croquis figurará en el sitio correspondiente la explicación de sus signos y tintas.
5. En los montes de gran extensión se reducirá la escala de tal modo que las hojas tengan todas el mismo tamaño. Este será un cuadro de 0,50 m de lado.
6. Se anotarán anualmente en dichos croquis los aprovechamientos que se ejecuten por medio de trazos perpendiculares a la orientación de las cortas. Por trazos que comprendan el perímetro de las rozas y cortas de leñas, expresando dentro de él el año en que se verificaron; y por un trazo en forma de flecha los aprovechamientos involuntarios, como los árboles derribados, cortados fraudulentamente &c. &c.

Las «Instrucciones de servicio» de julio de 1881 repetirán idénticos criterios, y a ellas se remitirán las nuevas «Instrucciones para el servicio de las ordenaciones de

montes públicos» de diciembre de 1890, elaboradas por Lucas de Olazábal, aunque añadiendo algunas precisiones, objeto del artículo 25. Por ejemplo, se señala que, «cuando especies cuya representación requiera distintos colores se hallen mezcladas en un mismo rodal, se pondrá el color correspondiente a la que mayor área ocupe en dicho rodal, indicando la existencia de la otra con los signos usados en el dibujo topográfico para la representación de los árboles dibujados con el color correspondiente», que el monte bajo debe indicarse en verde y que los calveros, rasos y zonas en las que domine la vegetación herbácea deben dejarse en blanco.

Los trabajos de la Comisión del Mapa Forestal (1868-1887) siguieron en lo fundamental las características aquí señaladas (V. CASALS, 2009). Los planos y mapas fueron concluidos en buena medida, pero solo una pequeña parte de los mismos se exhibieron en público con motivo de la Exposición Universal de Barcelona de 1888 (CUERPO DE INGENIEROS DE MONTES, 1888). La mayor parte de la documentación fue destruida en 1936, junto con la Escuela de Montes donde se guardaba, durante la Guerra Civil.

La ausencia de una cartografía topográfica de base obligó a ingenieros de minas y forestales a realizar sus propios trabajos de nivelación y de levantamiento planimétrico y a utilizar diferentes materiales publicados por cartógrafos nacionales y extranjeros. Los proyectos de ingeniería relacionados con el diseño de las vías de comunicación iban acompañados de material cartográfico y, junto a las cartas itinerarias, dieron lugar a lenguajes de representación gráfica específicos, como a continuación señalaremos.

III

LAS CARTAS ITINERARIAS Y LA PLANIMETRÍA DE PROYECTOS EN LA INGENIERÍA

A partir del segundo tercio del siglo XIX, la renovación y la ampliación de la red viaria se intensificaron. Las primeras leyes de carreteras clasificaban las vías en generales, transversales, provinciales y locales. Poco después ese proceso de modernización fue acompañado de la construcción de los caminos de hierro. La desamortización puso en manos de la Administración recursos para la reforma y la modernización de la red viaria. El control administrativo sobre la validez técnica y legal y la viabilidad de los nuevos proyectos requería la elaboración de informes y memorias, acompañados de documentos gráficos. A su vez, los diversos niveles de la Administración española decimonónica publicitaron en forma de mapas tanto los proyectos viarios como la expansión de la red. Según el nivel de análisis, esta cartografía itineraria tuvo un carácter general, provincial o más específico.

III.1. *La Carta itineraria y la cartografía de obras públicas*

Con las reformas políticas del liberalismo y la organización definitiva del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, la Administración empezó a elaborar información sobre la red viaria y otros aspectos competencia del área de Fomento. La cartografía de carác-

ter general sobre la red española de caminos y vías de comunicación fue iniciada con las primeras colecciones de mapas (E. MARTÍNEZ, 1989b). Un ejemplo es el publicado por el geógrafo francés Auguste-Henri Dufour en 1841 bajo el título de *Mapa general de los caminos de España y de Portugal, con las nuevas divisiones de provincias*.

La Dirección General de Caminos primero y la de Obras Públicas después organizaron una comisión para formar la *Carta itineraria de la Península*. Una real orden de 3 de octubre de 1853 nombraba al ingeniero de caminos y arquitecto Carlos María de Castro jefe de aquella comisión. A sus órdenes quedó el ingeniero segundo de caminos José Baldasano. Aquel encargo fue concluido a finales de la década de 1870. Antes de su finalización, y a partir de 1857 se iniciaba la publicación de una serie de mapas temáticos relacionados con el desarrollo de las comunicaciones y la actividad profesional al servicio del Estado de los ingenieros de caminos. Ese año la Dirección General de Obras Públicas publicaba el *Mapa itinerario de España con expresión del estado de las carreteras y líneas electro-telegráficas en diciembre de 1855*. Este documento contenía una representación sencilla, con los topónimos localizados a lo largo de las vías de comunicación y el recorrido de las carreteras construidas, en construcción y en proyecto, las provinciales y las líneas del telégrafo eléctrico.

Estos mapas empezaron a ser diseñados con medios propios y con una edición más cuidada a cargo de los delineantes del Depósito Central de Planos y fueron adjuntados a las *Memorias de obras públicas*. Con la información generada por los ingenieros de caminos en los distritos y las provincias, el Depósito de Planos continuó la serie de mapas sobre el estado de la red de comunicaciones. Años más tarde, la *Carta general de las obras públicas, formada por el Cuerpo de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Año de 1878*, en escala 1:2.000.000, aportó algunas novedades. En primer lugar incluyó el relieve por sombreado, lo que proporciona al mapa una estructura territorial. También introducía el cromolitografiado con el objeto de diferenciar el relieve de la hidrografía.

Los trabajos encomendados a Castro finalizaron en 1878, a tiempo para editar un mapa general y para presentar los resultados de forma manuscrita a escala 1:300.000 en la Exposición Universal de París. La *Carta itineraria* fue publicada a una escala más reducida. Así, el Cuerpo de Ingenieros de Caminos, canales y puertos editaba en 1882 la *Carta general de las obras públicas de España*, a escala 1:500.000, un mapa en 16 hojas a cuatro colores, con la escala gráfica expresada en kilómetros. El meridiano de origen es el de Madrid, con el relieve por sombreado y la red hidrográfica principal. El recuadro con los signos convencionales muestra el orden administrativo, las capitales de provincia, las cabezas de partido judicial y los pueblos, así como las carreteras, ferrocarriles y canales construidos y en construcción, los faros según sus luces, las alturas sobre el nivel del mar, expresadas en metros, y las longitudes de los ríos con los reconocimientos realizados por las comisiones hidrológicas.

La organización provincial del Cuerpo de Ingenieros de Caminos originó informes con el estado de las vías de comunicación y los planes específicos. Los planes de

carreteras provinciales en la década de 1870 incluyeron información cartográfica. Asimismo, las diputaciones provinciales y sus servicios de carreteras generaron también esta tipología de mapas (M. C. MONTANER, 2003).

La instalación de los caminos de hierro, los ferrocarriles, relanzó las actuaciones territoriales y originó necesidades propias en materia cartográfica. Como en otros países, la construcción de la red ferroviaria contribuyó a la confección de mapas topográficos levantados con los datos de nivelación necesarios para el cálculo de pendientes y desmontes.

Durante el Bienio Progresista fue aprobada la Ley General de Ferrocarriles de 3 de junio de 1855. Desde entonces las concesiones ferroviarias obedecían a una planificación. Con independencia del diseño de la red, el esfuerzo constructivo fue muy intenso. Nuestro país pasó de una red de menos de 500 kilómetros en 1855 a otra con más de 5.000 diez años después. A comienzos del siglo xx la red ferroviaria sobrepasaba los 15.000 kilómetros, de los que más de 5.000 eran de vía estrecha. El geógrafo e ingeniero militar Francisco Coello contribuyó en los debates sobre el trazado de la red ferroviaria desde su implantación y dejó constancia de su propuesta en forma de mapas (E. VIDAL, 1994). Este cartógrafo propuso un modelo radial, combinado con líneas transversales y con la integración del territorio portugués. Su propuesta fue publicada con las deliberaciones parlamentarias de la Ley General de Ferrocarriles. Coello también participó en los debates sobre el plan general de ferrocarriles de 1867.

La información sobre el estado de la red ferroviaria precisó un tratamiento cartográfico específico. Es el caso de la *Carta de España con las líneas de ferro-carriles que formaban la red en 1.º de enero de 1866* (1867). Este mapa aprovechaba la base de la *Carta itineraria* a escala 1:2.000.000. Con posterioridad, la Dirección General de Obras editaría documentos similares, como la *Carta indicando el estado de los caminos de hierro de España en 1.º de enero de 1869*. Un recuadro de este mapa consigna el estado de los ferrocarriles y su distribución entre las diferentes compañías y sociedades a 1 de enero de 1869 según el orden de importancia de estas.

III.2. Las obras públicas y su cartografía

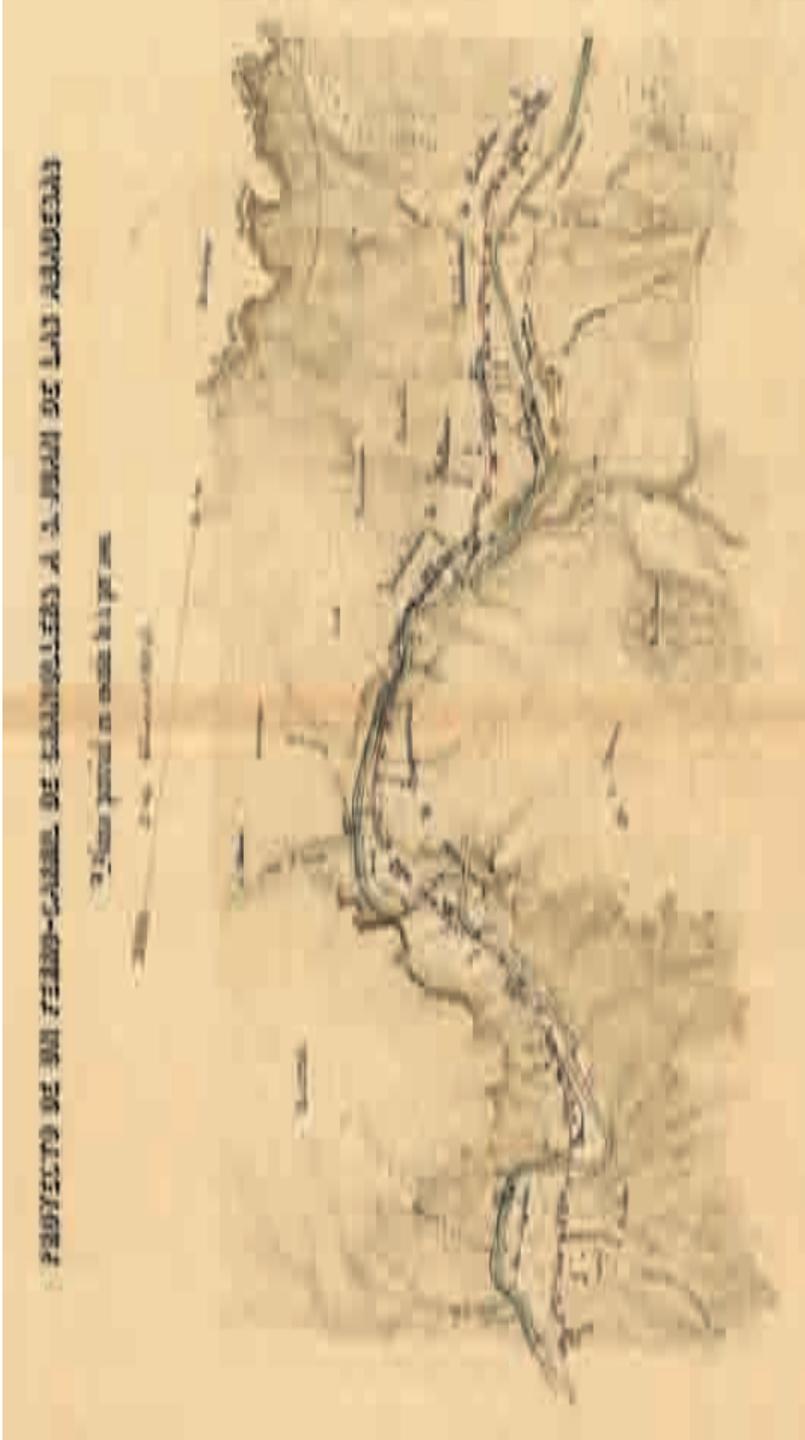
Los cuerpos de ingenieros civiles se hicieron cargo a partir de la década de 1830 de los diferentes ámbitos de las obras públicas. Como hemos dicho, los proyectos de ingeniería requerían ciertas formalidades técnicas para su aprobación administrativa. Las propuestas de intervención debían presentar planos y perfiles, además de las consideraciones facultativas o de presupuesto. Esta cartografía derivaba del conocimiento directo y de levantamientos topográficos delimitados que ayudaban a la resolución técnica de los proyectos en base al cálculo de pendientes y desmontes, entre otros. Como ya sabemos, los ingenieros de caminos españoles debieron llevar a cabo estos trabajos sin un mapa base de referencia. Con todo, su labor colaboró a la difusión de la técnica de representación cartográfica, la mejora de los sistemas de representación por medio de las curvas de nivel, el empleo de instrumentos topográficos y la normalización en la redacción de los proyectos de obras públicas (C. NÁRDIZ, 1993).

La planificación de carreteras, ferrocarriles y puertos o el reconocimiento hidrográfico presentan aspectos específicos. Así lo ponen de manifiesto las directrices para la redacción de esos proyectos. El 21 de febrero de 1843 fue organizada una comisión con el objeto de dar uniformidad a la documentación de los proyectos de obras públicas de caminos. La comisión estaba formada por los ingenieros José García Otero, Manuel María de Chávarri, Julián Noguera, Calixto de Santa Cruz, Lucio del Valle y Francisco La Gasca, y finalizó sus tareas en la primavera de 1846. La aprobación de los proyectos requería la presentación de cuatro documentos: la memoria explicativa, los planos, el pliego de condiciones facultativas y los presupuestos. Uno de los aspectos clave considerados por la comisión era la fijación de las escalas y la acotación de los planos. El levantamiento de los planos necesarios para el trazado de una carretera tenía implicaciones en la exactitud de los cálculos y en la reunión de datos topográficos de confianza, y podía ser útil en otros ramos de la Administración pública. Esta normativa quedaba integrada en los deseos de uniformidad cartográfica de la ya comentada «Instrucción» de 22 de abril de 1841 para la rectificación de la carta de España, tanto en las escalas escogidas como en la representación de los diferentes elementos de cada proyecto. Desde principios del siglo XIX se había impuesto la escala de 1:20.000 para los proyectos de carretera. La comisión de ingenieros de caminos proponía utilizar escalas menores «cuando las líneas proyectadas tengan mucho desarrollo». Las escalas escogidas estaban relacionadas con las adoptadas en Francia: 1:40.000, 1:80.000 y 1:160.000 para territorios amplios y 1:10.000, 1:5.000 y 1:2.500 para los detalles topográficos. Los proyectos de carreteras debían incluir perfiles y elementos planimétricos de detalle a escalas mucho mayores:

en todo plano que se represente un proyecto de carretera, se trazará el terreno según la directriz, en el cual se señalarán las rasantes con líneas fuertes de carmín. La escala de las horizontales será la misma que la del plano y siempre la de 1:400 para las verticales.

La representación de los «objetos», accidentes del terreno, escritura y otros detalles debía tener en cuenta las recomendaciones de la mencionada «Instrucción» de 1841.

Estas consideraciones fueron tratadas en diferentes trabajos corporativos sobre los proyectos de carreteras. Entre ellos, el *Manual de caminos* (1855) del ingeniero Pedro Celestino Espinosa y el *Tratado de la formación de los proyectos de carreteras* (1862) del también ingeniero Mauricio Garrán Román. El primero resume las propuestas de la comisión para la redacción de los proyectos en 1846 y añade otras de orden práctico. Espinosa lamenta la «carencia de una carta exacta y detallada de la península, que pudiera servir de guía en las primeras operaciones de reconocimientos y tanteos», por lo que los proyectos necesitan levantamientos y nivelaciones. El texto de Garrán incluye un apartado sobre el trabajo de campo, los reconocimientos y las operaciones topográficas de nivelación y el levantamiento de planos. La utilidad de los trabajos topográficos en un proyecto de carretera consistía, según este autor, en que debían servir para «la fijación de la línea y accidentes del terreno que cruza» y «fijar



2.11. Proyecto de un ferrocarril de Granollers a San Juan de las Abadesas. Plano parcial en escala 1:5.000. 4.ª hoja, kilómetros 16, 17, 18, 19 y 20. Ildefonso Cerdà. Agosto de 1856. Norte magnético. Curvas de nivel cada cinco metros. Sello de la Inspección de Ferrocarriles, Distrito de Barcelona. Cartoteca del Institut Cartogràfic de Catalunya.

los ejes de estas y de la zona que han de ocupar». Manuel Garrán habla de levantamientos exactos con las nivelaciones convenientes «para obtener con todo rigor el relieve de sus accidentes».

En este sentido, el diseño de las líneas de ferrocarril requería también planimetrías muy detalladas. Una instrucción inicial de 1844 redactada por José Subercase y Calixto Santa Cruz abordaba el pliego de condiciones para la realización de los proyectos de ferrocarriles y la obtención de la concesión (C. NÁRDIZ, 1993). Una década más tarde, las instrucciones de 1855 eran más flexibles, dado que permitían pendientes superiores, pero obligaban a levantar planos más detallados. Las compañías estaban obligadas a presentar un plano preciso del camino y sus dependencias, los estados descriptivos de las obras y las actas de amojonamiento de las propiedades. Las propuestas gráficas tenían que dividirse en varias hojas, «cada una con un trozo de 5 kilómetros». Las escalas para los planos y perfiles debían ser 1:5.000, y 1:500 para las verticales, y estos pronto incluyeron la expresión del relieve por curvas de nivel. En concreto, la «Instrucción» de 1855 destacaba que «todos los planos de las obras de la vía [...] se acotaran en todas su partes. El acotamiento se hará por términos municipales». Los planos habían de estar firmados por el ingeniero, el director o propietario de la compañía, con el visado del ingeniero provincial.

La precisión topográfica del trayecto de las líneas fue una condición necesaria para el desarrollo de los proyectos ferroviarios. Las curvas de nivel eran un elemento esencial en los proyectos. Con ellas se generaban diversos cálculos, entre ellos los de pendientes (M. C. MONTANER, 2000). Los ingenieros tomaban datos sobre la nivelación de la línea y levantaban los planos por procedimiento taquimétrico sobre unos puntos de referencia arbitrarios. El resultado era una representación de una franja de terreno de doscientos a seiscientos metros de ancho en toda la longitud del recorrido. En ellos se incluían diferentes elementos planimétricos, como las edificaciones, junto a los datos para la realización de perfiles y curvas de nivel. Un ejemplo destacado de un proyecto con una planimetría completa es el firmado por Ildefonso Cerdá en 1856 (M. C. MONTANER, 1994). El ingeniero presentó los *Planos del proyecto de un ferrocarril de Granollers por Vich y Ripoll a San Juan de las Abadesas* (agosto de 1856) con un *Mapa geológico-hidrográfico de la zona que comprende los diversos trazados de ferrocarril para transportar al litoral los carbones y los hierros de San Juan de las Abadesas*, los *Planos longitudinales a escala 1:50.000* de toda la línea, dividida en dos secciones con curvas de nivel cada cincuenta metros, y los *Planos parciales a escala 1:5.000*, con 17 hojas y con curvas de nivel equidistantes cada cinco metros. La representación de la topografía ocupa una anchura de más de dos kilómetros alrededor del trazado y está dibujada a color. El punto inicial de la nivelación es la estación de Granollers (ibídem).

Ingenieros, arquitectos, maestros de obras, agrimensores también elaboraron representaciones gráficas de otros fenómenos territoriales, como los relativos a la fábrica urbana o al parcelario rústico. A ese apartado de la cartografía dedicamos el último apartado de este trabajo.

IV

PLANOS GEOMÉTRICOS PARA LAS CIUDADES Y EL ESPACIO RURAL

Estos profesionales son considerados geómetras con capacidad para levantar mapas en una proyección plana, planos geométricos. Los agrimensores y topógrafos desplegaron una intensa actividad con el objeto de medir, evaluar y representar la propiedad rural. Por su parte, la cartografía urbana en el siglo XIX también fue geométrica, parcelaria y topográfica. Los planos de las ciudades consideraron el espacio urbano construido, su contexto territorial y su futuro desarrollo.

IV.1. *Los planos de los geómetras, el catastro y la agrimensura*

A mediados del XIX la reforma fiscal del ministro de Hacienda Alejandro Mon definió dos sistemas de evaluación de la riqueza territorial: las estadísticas territoriales y los amillaramientos. La estadística territorial tenía como objetivo la medición y la evaluación de propiedades y producciones. En buena lógica, había de llevar a la elaboración de un catastro. Sin embargo, este fue un objetivo que tardaría más de medio siglo en hacerse realidad. Mientras tanto, algunas localidades impulsaron trabajos parcelarios; de hecho, auténticas estadísticas territoriales, un catastro sin catastro. Además de estas iniciativas locales y a pesar de toda la literatura y las polémicas vertidas sobre el catastro, esta opción fue objeto de ensayo en la provincia de Madrid entre los años 1857 y 1869 y generó diversos tipos de cartografía parcelaria y catastral.

La otra vía, los amillaramientos, implicaba un esfuerzo menor, dado que la responsabilidad y la conflictividad de su gestión reposaban en el ámbito local. La Administración Provincial de Hacienda repartía un cupo entre los municipios, y las juntas periciales de los pueblos, a su vez, distribuían esa cifra entre los contribuyentes a partir de sus declaraciones. Los amillaramientos fueron el documento administrativo básico de todo el edificio que sustentó la contribución territorial, así como la estadística básica de su reparto en España hasta finales del siglo XIX, y en algunas zonas hasta mediados del XX (J. PRO, 1992; R. VALLEJO, 2001).

La contribución territorial generó una ingente documentación estadística y, en algunos lugares, una rica cartografía (F. NADAL, L. URTEAGA y J. I. MURO, 2005). Representantes de los propietarios de algunos municipios de las provincias de Barcelona, Girona, Tarragona, Lleida y las islas de Mallorca y Menorca, a través de sus juntas periciales, contrataron los servicios de peritos para realizar estadísticas territoriales, medir y levantar planos geométricos. Geómetras como Pedro Moreno y Ramírez fueron auténticos especialistas en el levantamiento de los parcelarios rústicos (F. NADAL, L. URTEAGA y J. I. MURO, 2006).

Los planos geométricos reflejaban la división parcelaria municipal, ligada a una estadística territorial que incluía la valoración fiscal de propiedades y productos. Estos documentos no obedecieron a levantamientos uniformes, propios de un catastro general. Llevaban, además de la firma de su responsable, el sello de su estilo. Su realización obedecía a técnicas de levantamiento muy extendidas, con instrumentos sen-



2.12. Plano parcelario de la partida de San Bernabé, sección 25, escala 1:2.000. Medín Sabater y Palet: *En Estadística territorial del distrito de la ciudad de Tortosa: el plano general del mismo, los particulares de cada una de las partidas en que está subdividido con sus detalles en mayor escala y el amillaramiento de su riqueza rústica, urbana y pecuaria, 1868, t. 1, 3. Representa el parcelario alrededor del arrabal de Jesús, en el límite con el municipio de Roquetes. Ayuntamiento de Tortosa, Oficina del Catastre.*

cillos y un trato directo entre el perito o el contratista y las autoridades locales (J. I. MURO, 2007b). Las operaciones eran detalladas, sobre escalas de 1:5.000 y mayores, e implicaban la medición previa a la evaluación y al registro de propiedades. Con frecuencia el detalle cartográfico incluía la formación de atlas parcelarios municipales, compuestos por diversas hojas.

Como ya hemos adelantado, la iniciativa estatal tuvo su opción a partir de la creación en 1856 de la Comisión de Estadística General del Reino. La realización de un catastro de los bienes inmuebles con el objetivo de registrar la riqueza imponible y distribuir de manera más justa la carga impositiva permitió la organización en 1857 de la Comisión de Topografía Catastral, dirigida por Celestino del Piélago. Las operaciones se iniciaron en la provincia de Madrid con la triangulación catastral de los términos municipales, su medición y delimitación, la determinación de los polígonos catastrales y de las masas de cultivo. Sus operaciones finalizaron en 1859, con el levantamiento de los planos por masas de cultivo de un conjunto de municipios del sur de la provincia de Madrid (J. I. MURO, F. NADAL y L. URTEAGA, 1992). Por entonces, y tras los debates en el seno de la institución estadística, el Congreso de los Diputados aprobaba una ambiciosa ley de medición del territorio el 5 de junio de 1859, que definió un catastro par-



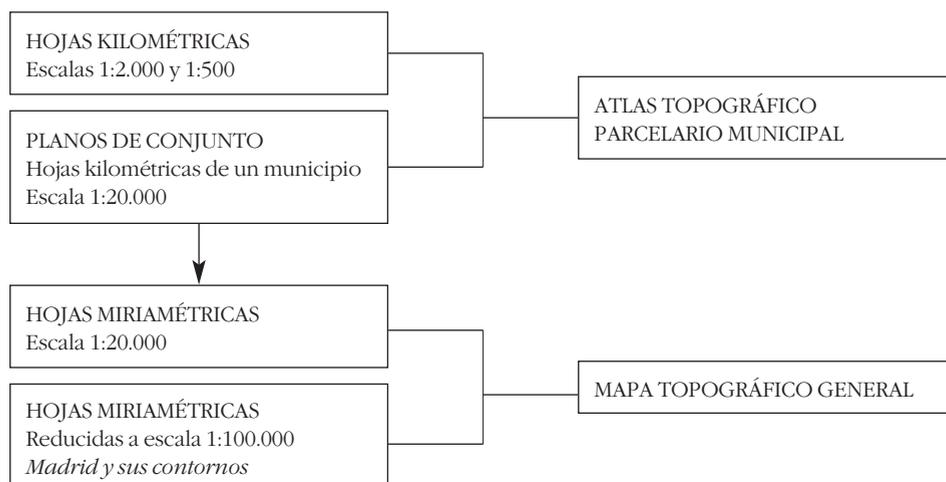
2.13. Topografía catastral de España. Estado de los trabajos catastrales en la provincia de Madrid: 1.º de enero de 1866: Escala 1:400.000. Cromolitografía de la Junta de Estadística (Biblioteca Nacional de España). Este mapa indica a través de líneas y colores el estado de los trabajos topográficos y catastrales realizados por la Junta General de Estadística desde 1857 hasta 1865. Las líneas negras seguidas marcan los términos municipales de los pueblos. Las de trazos indican jurisdicciones agregadas o en reyerta. El filete señala los límites de partidos judiciales. Los puntos y trazos muestran la triangulación geodésica; la línea de trazos, la de segundo orden; las rectas seguidas, la topográfica de conjunto. Los colores denotan el estado de los trabajos, con dos gradaciones de tinta: la más baja, para los trabajos en curso de ejecución. La leyenda distingue entre los términos municipales levantados por masas de cultivo y sin nivelación, los términos parcelados por los concesionarios y aquellos levantados por el personal de la Junta General de Estadística por el sistema parcelario.

celario uniforme y centralizado. Con el control y la evaluación de la Administración, algunas empresas concesionarias del catastro realizaron ensayos de levantamientos. De forma paralela, los empleados del catastro de la Junta General de Estadística iniciaban la delimitación del parcelario rústico y urbano de los municipios de la provincia de Madrid a escala 1:2.000, con nivelaciones muy detalladas y unas triangulaciones que debían conectar con la red geodésica. Para su desarrollo se organizó una Escuela Práctica de Ayudantes para la Medición del Territorio —después Escuela del Catastro—, a la par que se formulaban reglamentos de operaciones topográfico-catastrales (1862).

Los responsables otorgaron a las operaciones un carácter técnico de gran precisión, en el que la unidad básica era la parcela. El detalle requerido para estos procedimientos topográficos y catastrales generó materiales a diversas escalas, manuscritos y publicados: mapas a escala 1:20.000 del territorio municipal y planos parcelarios a escala 1:2.000 y 1:500 con aplicaciones catastrales y fiscales. La planimetría parcelaria se apoyaba en las «hojas kilométricas». Estas contenían los datos de referencia catastral, junto a la información geométrica y topográfica, con curvas de nivel equidistantes cinco metros. Los empleados del catastro también acometieron otros levantamientos para formar colecciones de planos específicas, como los relativos a las propiedades de las posesiones reales o las hojas miriamétricas de conjunto reducidas para su publicación a escala 1:100.000 (véase cuadro 2.1 y J. I. MURO, F. NADAL y L. URTEAGA, 1996).

El plan de medición del territorio a escala 1:2.000 cambió de rumbo en 1866 y las operaciones de levantamiento parcelario se paralizaron, aunque las labores de gabinete continuaron hasta finales del año 1869. En suma, entre los años 1857 y 1869, a pesar del nivel de detalle exigido y la precisión empleada, el catastro se extendió por 156 de los 225 municipios de la provincia de Madrid. También se realizaron tareas paracatastrales, realizadas en municipios de las provincias de Guadalajara, Toledo, Cuenca y Segovia. Los resultados, en su conjunto, originaron una rica documentación planimétrica, aunque con una mínima validez fiscal (J. SASTRE, 2003).

A partir de 1870 las prioridades cambiaron. Como hemos visto, el centro de atención del Instituto Geográfico será el mapa topográfico. De hecho, la vía catastral no fue retomada hasta 1893, y entonces ligada a la crisis agraria de finales del siglo y a las dificultades de la Hacienda pública.



Cuadro 2.1. Despliegue de la serie de mapas y planos topográfico-catastrales, 1859-1869: desde el levantamiento de las hojas kilométricas hasta el mapa topográfico general. (Fuente: J. I. MURO, 2007b).

Con la desagregación administrativa del proyecto cartográfico en 1866, las distintas corporaciones profesionales continuaron enfrentándose a la resolución de la representación territorial con los desarrollos que la topografía y el arte de elaborar planos ofrecían. Y los problemas no eran menores entonces, como lo demuestra toda la cartografía urbana generada en buena parte a partir de iniciativas locales y municipales con el objetivo de dirigir el crecimiento de las ciudades.

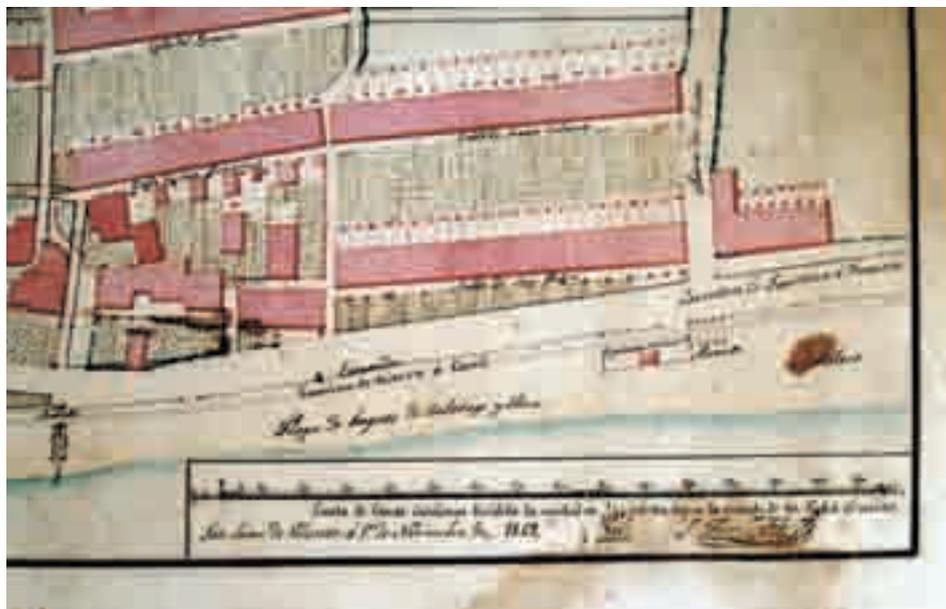
IV.2. Los planos para el espacio urbano

El espacio urbano ha sido objeto de representación cartográfica desde hace siglos. También en el XIX, las consideraciones derivadas del crecimiento urbanístico, así como el diseño de nuevas áreas en la ciudad y la integración y reforma de la ciudad histórica, dieron lugar a una planimetría específica. La reestructuración interna de los antiguos trazados a través de normativas y planimetrías de alineaciones o la generación de nuevas como en los ensanches fueron plasmadas a través de mapas.

La ordenación urbanística propugnada por las alineaciones, junto a la obligatoriedad del levantamiento de planos geométricos, favoreció desde el año 1846 la participación de los ingenieros en la ciudad (J. GÓMEZ MENDOZA, 2006). A su vez, la ingeniería adaptó las infraestructuras en el espacio urbano a partir de nuevas redes de saneamiento o de transporte (C. GAVIRA, 1996). La reforma fiscal del liberalismo español en la década de 1840 tuvo consecuencias en el conocimiento preciso de la propiedad, con proyectos catastrales de cartografía urbana de elevada precisión (J. I. MURO, F. NADAL y L. URTEAGA, 1996). A la larga, en algunas ciudades fueron organizados servicios específicos para su elaboración, cuidado y actualización.

En la primera mitad del Ochocientos los arquitectos municipales ya elaboraban y trazaban planos por calles o secciones a una escala detallada. En Madrid y Barcelona los hicieron antes de la Real Orden de 25 de julio de 1846. El Ayuntamiento de Madrid disponía del plano geométrico de la ciudad realizado por los ingenieros Juan Merlo, Fernando Gutiérrez y Juan de Ribera, levantado entre 1841 y 1846 a escala 1:1.250 (F. NADAL, 1998). En otras ocasiones, los planos geométricos no incluían los planes de alineaciones y mostraban la imagen de la forma urbana.

Los planos geométricos de las poblaciones mandados realizar en los años 1846 y 1848 constituyeron un instrumento de la ordenación y la regularización urbana. En concreto, la Real Orden de 25 de julio de 1846 ordenaba marcar las líneas de alteración en las alineaciones y obligaba a levantar el plano geométrico de la población a escala 1:1.250, con el objeto de trazar en ellos las alteraciones de la trama viaria en el futuro. La falta de técnicos y las escasas posibilidades de muchos ayuntamientos obligaron a reformular aquella orden el 20 de febrero de 1848. Entonces la obligatoriedad recayó en las capitales de provincia y las poblaciones de crecido vecindario que contaran con los servicios de arquitectos con título o ingenieros «que puedan levantar dichos planos». Diversas localidades remitieron la planimetría para su aprobación (R. ANGUISTA, 1998).



2.14. Plano geométrico del pueblo de San Juan de Vilassar de Mar, provincia de Barcelona, levantado según previene el Real Decreto circular de 26 de julio 1846: San Juan de Vilassar, 1 de noviembre de 1848. Escala de canas catalanas dividida la unidad en 1/1.250 partes según lo mandado en dicha circular. J. Francisco Soler. Fragmento del plano de alineaciones que muestra la expansión urbana motivada por la llegada del ferrocarril a esta zona.

Una instrucción para la alineación de calles de 19 de diciembre de 1859 desarrollaba el contenido formal de los planos y prevenía que habían de presentarse «con la claridad, exactitud y precisión que su objeto reclama». Estos debían contener los nombres de las calles o plazas y las cotas en escala métrica que expresara su amplitud, así como orientación magnética y verdadera. Los espacios en blanco quedaban reservados a las calles, plazas o terrenos de aprovechamiento común. Los planos de alineaciones tenían que realizarse a escala 1:300, y los planos generales de la zona de la población, a la de 1:2.000, presentarse sobre papel tela y por duplicado. Los criterios acerca del uso del color, los signos y los accidentes se mostraban en unos modelos adjuntos.

Esta normativa y los criterios técnicos que implicaba abrieron las posibilidades de los cartógrafos y de las empresas privadas de topografía. Es el caso del arquitecto barcelonés Josep Fontseré i Mestre o del oficial de Estado Mayor e ingeniero industrial Joaquín Pérez de Rozas y su empresa Establecimiento Geográfico y Topográfico, quienes se convirtieron en verdaderos especialistas del levantamiento de planos geométricos urbanos. Otros cartógrafos consiguieron contratos de los ayuntamientos para realizar trabajos muy detallados sobre planos de alineaciones a escala 1:250. Es el caso de Dionisio Casañal y Zapatero, oficial del cuerpo de topógrafos del Instituto Geográfico y Estadístico. Casañal constituyó la empresa Centro Geodésico Topográfico, con sede en Zaragoza y especializada en planimetría urbana y catastral.

IV.3. Planimetría para el ensanche

Los trabajos de Ildefonso Cerdá Sunyer (1815-1876) relacionados con el ensanche de la ciudad de Barcelona dieron lugar a una topografía urbana de gran calidad técnica. El *Plano de los alrededores de la ciudad de Barcelona levantado por orden del Gobierno para la formación del proyecto de ensanche* de Barcelona a escala 1:5.000, del año 1855, constituía uno de los trabajos preparatorios del proyecto de ensanche urbano. Fue uno de los primeros mapas impresos urbanos que utilizó curvas de nivel para la representación del relieve (M. C. MONTANER, 2000, pp. 46-49). La *Revista de Obras Públicas* (1856) informaba de que trabajaron «25 cuadrillas» en el levantamiento del plano y su nivelación, y el resultado fue «el plano topográfico más claro y más perfecto que hemos visto en que se presenta el terreno por secciones de nivel, distantes entre sí un metro». Este ingeniero de caminos levantó este plano a partir de levantamientos parciales o planos de detalle a escala 1:1.250.

Con otros objetivos, aunque sobre la misma ciudad, el arquitecto Miquel Garriga i Roca terminaba en 1862 el *Plano topográfico geométrico de la ciudad de Barcelona*



2.15. Plano de los alrededores de la ciudad de Barcelona: proyecto de reforma y ensanche: El ingeniero de caminos, canales y puertos Ildefonso Cerdá, abril de 1861. Cartoteca del Institut Cartogràfic de Catalunya. (El plano con la propuesta del ensanche de la Ciudad Condal se reproduce en la fig. 16.7 de este mismo volumen).

y *proyectos de reforma general a 1:2.000*, que combinaba el plano geométrico, el topográfico y el de alineaciones. Garriga confeccionó además una serie de 118 *quar-terons* o planos parcelarios y topográficos de Barcelona a escala 1:250, con inclusión de las alineaciones. El resultado es un mapa topográfico de gran detalle con curvas de nivel cada metro, el parcelario, la numeración de los solares, las plantas de los edificios públicos y el dibujo de los edificios privados con noticias históricas, topográficas y estadísticas (F. NADAL, 1998 y 2011).

La técnica cartográfica asociada a los proyectos de esta naturaleza está ya madura en la década de 1870. Así queda patente en el método de levantamiento y la documentación planimétrica del proyecto de ensanche de la villa de Bilbao (1873), del arquitecto Severino Achúcarro y los ingenieros de caminos Pablo Alzola y Ernesto Hoffmeyer. El proyecto incluye un plano general en escala 1:2.500 de todo el municipio bilbaíno, con «el relieve del terreno por medio de curvas de nivel, de dos en dos



2.16. Proyecto de ensanche de la villa de Bilbao, en Diccionario enciclopédico Montaner y Simón, escala 1:5.000: *Curvas de nivel. Este plano es una reducción del original del proyecto de ensanche de la villa de Bilbao, firmado el 1 de agosto de 1873 por el arquitecto Severino Achúcarro y los ingenieros de caminos Pablo Alzola y Ernesto Hoffmeyer, a escala 1:2.500, con curvas de nivel cada dos metros. Los signos convencionales muestran los límites jurisdiccionales actuales y el anterior a la aprobación del plano, los hitos de primer y segundo orden, los edificios de fábrica y de madera. En rojo, la edificación proyectada, los caminos y las vías de ferrocarril existentes y proyectadas. Un segundo plano del ensanche en escala 1:1.000 contiene las alineaciones y rasantes de las nuevas calles. Hay un tercer plano del casco de la población en escala 1:250 (tres hojas). Cartoteca del Institut Cartogràfic de Catalunya.*

metros». En este plano de conjunto aparecen las marcas de todas las modificaciones en la población existente y el ensanche.

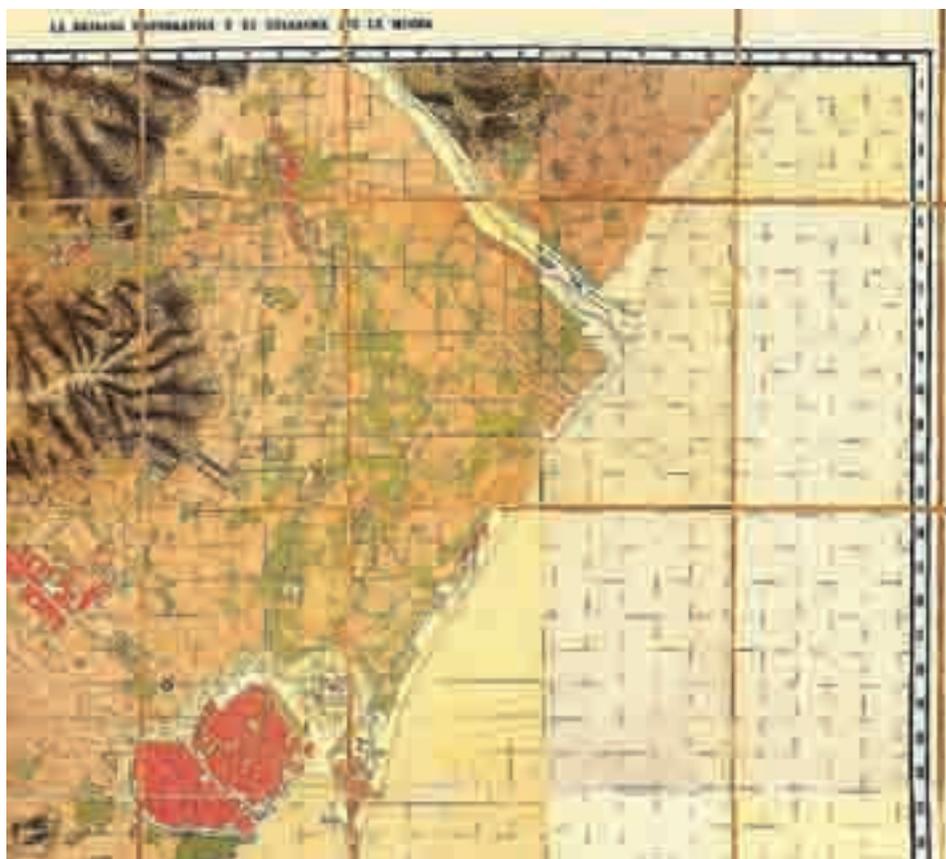
Las infraestructuras urbanas relacionadas con el saneamiento de poblaciones o la gestión de la red de abastecimiento requerían mediciones también precisas. Un ejemplo destacado son los trabajos del ingeniero de caminos y arquitecto Pedro García Faria (1858-1927). En el año 1884 realizó un plano topográfico de Barcelona con curvas de nivel equidistantes cada medio metro, base del plan de saneamiento del subsuelo de la ciudad de Barcelona en 1893, que presentó con dos planos topográficos de Barcelona a escala 1:10.000 y 1:5.000 (M. Á. MIRANDA, 2006).

IV.4. *El interés militar en los planos de ciudades*

En los años centrales del siglo, el estado de las fortificaciones peninsulares tras las destrucciones sistemáticas de la guerra de la Independencia dio lugar a debates sobre su eficacia. Estas consideraciones coincidieron en el tiempo con los procesos de expansión urbana. La reforma y la ampliación de las fortificaciones tuvieron su parte cartográfica y dieron lugar a que los ingenieros militares realizaran levantamientos planimétricos. Para afrontar estas tareas, en 1847 fue organizada la Brigada Topográfica de Ingenieros. Esta unidad realizó levantamientos hasta una distancia de unos cuatro kilómetros, a escalas variables (1:5.000, 1:10.000, 1:20.000). El primer ejercicio de cartografía urbana que realizaron los miembros de aquella unidad fue el *Plano de la ciudad de Guadalajara y sus arrabales*, levantado en 1848 a escala 1:2.000. Después siguieron otros de ciudades españolas y puntos fortificados (J. I. MUÑOZ, 1993). A continuación la Brigada Topográfica se trasladó al País Vasco, donde realizó diversas labores topográficas y ensayó técnicas de nivelación topográfica. En ese destino, otro de sus cometidos fue la realización del *Plano de la plaza de San Sebastián y sus inmediaciones hasta la distancia de una legua de sus fortificaciones* (1850, escala 1:10.000).

La incapacidad de la brigada de ingenieros para realizar los planos de las ciudades y plazas fuertes en un plazo razonable dio lugar a la organización de brigadas topográficas y de ensanche específicas. En su conjunto, su labor constituye un buen ejemplo de la planimetría urbana realizada por ingenieros militares a caballo entre dos épocas. Entre ellos merece la pena destacar la planimetría realizada por la Brigada Topográfica y de Ensanche de Barcelona, con el *Plano de la plaza de Barcelona y su terreno hasta la distancia de una legua de las fortificaciones levantado con telémetro acotado y dibujado por los jefes y oficiales del Cuerpo de Ingenieros que componen la Brigada Topográfica y de Ensanche de la misma* (1853, escala 1:5.000). En este documento los ingenieros del ejército utilizaron el color rojo para distinguir el espacio construido, el verde para indicar el espacio agrícola, el negro para el relieve y las vías de comunicación y el siena para el resto. Contiene una cuadrícula alfanumérica, una referencia de los elementos urbanos reseñados en la leyenda.

Los proyectos de reforma, ensanche o rectificación de las fortificaciones requirieron planos «exactos y acotados» para efectuar cálculos y perfiles a escalas entre 1:2.000 y 1:500, para cartografiar los terrenos sujetos a venta y compra y para mostrar las varia-



2.17. Plano de la plaza de Barcelona y su terreno hasta la distancia de una legua de las fortificaciones, levantado con telémetro, acotado y dibujado por los jefes y oficiales del Cuerpo de Ingenieros que componen la Brigada Topográfica y de Ensanche de la misma, *Barcelona, 1853, escala del original 1:5.000. Manuscrito, fragmento.*

ciones en la construcción urbana. Un buen ejemplo es *Plano de la plaza de Tortosa y sus fuertes exteriores levantado por la Brigada Topográfica con el teodolito y cinta rodete*, firmado por Felipe de Miquel y de Bassols, un detallado trabajo de nivelación, con numerosas acotaciones del municipio y de sondas en el cauce del río Ebro.

Los oficiales del Cuerpo de Estado Mayor realizaron trabajos de cartografía urbana desde la guerra de la Independencia. En la década de 1860 trabajaron en los territorios de ultramar y realizaron los planos de Manila, La Habana, Santiago de Cuba y Cienfuegos. En la Restauración política los cartógrafos en comisión del Estado Mayor realizaron levantamientos urbanos a escala 1:5.000 y con curvas de nivel equidistantes cada tres metros de diversas poblaciones españolas, publicados por el Depósito de la Guerra. Aunque esta planimetría urbana del Estado Mayor proviene de la década de 1870, a partir de 1881 tuvieron un desarrollo más amplio.

Con posterioridad, la organización en 1882 de la Comisión de Marruecos del Estado Mayor, dependiente del Depósito de la Guerra, produjo una abundante cartografía urbana colonial (L. URTEAGA, F. NADAL y J. I. MURO, 2003; L. URTEAGA, 2006), con la planimetría de las ciudades marroquíes más importantes (URTEAGA, NADAL y J. I. MURO, 2004). Esta cartografía urbana de carácter manuscrito fue realizada en escalas que oscilan entre 1:5.000 y 1:2.000. El plano *Tetuán y sus alrededores* (1888, escala 1:2.500), levantado por Francisco Gómez Jordana, Alejo Corso Sulikowski y Eduardo Álvarez Ardanuy (L. URTEAGA, F. NADAL y J. I. MURO, 2004, p. 270, fig. 3), representó el relieve con curvas de nivel cada cinco metros; es un buen ejemplo de esta cartografía urbana de uso militar. Posteriormente fue impreso con el título de *Croquis de Tetuán y sus alrededores por la comisión del cuerpo de Estado Mayor en Marruecos* (s. f., escala 1:5.000).

V

CONCLUSIONES

Aunque la uniformidad del lenguaje cartográfico no tuvo suficiente fuerza para imponerse, su estela y su influencia aparecieron por diversos caminos. Los centros de formación de ingenieros y otras corporaciones colaboraron en la normalización de dichas prácticas y divulgaron las características básicas de los contenidos de mapas y planos, manuscritos y publicados. Su realización está parcelada en diferentes tareas y fases, incluidos los levantamientos y la toma de datos en el campo. Entre los elementos esenciales de cualquier mapa destacan el marco geográfico de referencia, los diferentes elementos planimétricos, la nivelación, la escala gráfica y numérica, la proyección, el color, la orientación, la leyenda, el título, la fecha y la indicación de su autoría. Todo ello sobre un soporte generalmente de papel. Como hemos visto en las páginas precedentes, cada corporación técnica utilizó criterios propios para combinar estos elementos. La enseñanza del dibujo y de la topografía contribuyó a implantar cierta estandarización cartográfica.

Una parte considerable de la planimetría generada desde la ingeniería fue presentada en forma manuscrita, una vez los delineantes dejaban en limpio los datos de campo, por lo que, a excepción de las copias reglamentarias, son ejemplares únicos. En menor proporción estos fueron editados. A lo largo del Ochocientos se organizaron depósitos de planos, y también fue necesaria la formación y contratación de dibujantes, delineantes y grabadores. Las escuelas y academias de los cuerpos de ingenieros, así como los centros de enseñanza media, se encargaron de la difusión de estos conocimientos profesionales. El uso de las técnicas de representación cartográfica requirió el trabajo de personas con formaciones específicas. La inclusión de las enseñanzas técnicas en el sistema educativo general (F. NADAL y J. BURGUEÑO, 2008) y la organización de centros especializados (L. URTEAGA, 2007) tuvo en este sentido un papel destacado. A mediados de siglo, las perspectivas abiertas por el proyecto topo-

gráfico y catastral motivaría un ambiente propicio para la publicación de manuales de dibujo topográfico, auténticos instrumentos de normalización del lenguaje cartográfico (J. BURGUEÑO, 2008, pp. xcvi-c). Así, por ejemplo, en el *Tratado completo de dibujo topográfico* (1859) de Juan Papell y Llenas se afirmaba que los geómetras necesitan saber la parte científica y la artística para dominar el dibujo topográfico. Esta práctica —argumentaba el geómetra Papell— podía abrir las puertas de «un vasto ramo de trabajos» de «utilidad directa a ingenieros y a los que se dedican a obras públicas y trabajos estadísticos; siendo además un auxiliar necesario para el ejercicio de otras profesiones relacionadas más o menos directamente con la cartografía».

El dominio de los diferentes lenguajes de expresión gráfica requería una práctica continuada y constituía una parte esencial de la formación del ingeniero. En ocasiones, los métodos y convenciones que se habían de utilizar provenían de la propia tradición, recogida en los sistemas de aprendizaje. Esta afirmación queda patente, por ejemplo, en los intentos del Ministerio de la Guerra en 1847 de uniformizar el sistema de dibujo topográfico en los cuerpos de Artillería, Ingenieros y Estado Mayor. En última instancia, cada corporación utilizó sus propios sistemas de representación, instrucciones y signos convencionales, series de planos distintas y personal propio. Un ejemplo derivado del anterior fue la *Colección de signos convencionales* publicada en 1849 por los ingenieros Antonio Sánchez Osorio, Francisco de Albear y Ángel Rodríguez de Quijano (E. MARTÍNEZ, 1989a).

La edición de mapas contribuyó a ampliar el conocimiento y su manejo en la sociedad. Las diferentes técnicas de impresión dieron lugar a distintos sistemas de grabado sobre distintos materiales y superficies. Todo ello contribuyó a mejorar la reproducción de mapas y a difundir su conocimiento. El grabado de mapas fue tarea de especialistas y artistas, y constituyó uno de los grandes retos en la difusión de los materiales cartográficos (J. I. MURO, F. NADAL y L. URTEAGA, 1996). La realización de planos implicaba también resolver su lavado. Los criterios establecidos sobre los usos de los colores influyeron en la representación cromática en otros mapas y planos. Por otra parte, la cromolitografía facilitó el paso del coloreado tradicional a mano de los mapas a su impresión a color.

Las posibilidades de realizar mapas topográficos a partir de la estereoscopía de dos imágenes fotográficas —procedimiento denominado *fotogrametría*— facilitaron las tareas de levantamiento y la confección de mapas. A finales del XIX se desarrolló la fotogrametría terrestre, a partir de fotografías con superposición estereoscópica tomadas desde tierra. El método fotogramétrico fue ensayado por los cartógrafos militares y en las series de mapas nacionales y resultó de gran utilidad para los trabajos topográficos en relieves accidentados (J. I. MURO, L. URTEAGA y F. NADAL, 2002). En las primeras décadas del siglo XX la fotogrametría aérea dio pasos de gigante en este campo.

Los cambios en la expresión cartográfica corrieron paralelos a la modernización económica y a las transformaciones territoriales durante el Ochocientos. La carencia de una cartografía de base obligó a realizar detallados trabajos de campo con el obje-

to de resolver los problemas planteados por la práctica de la ingeniería. La iniciativa privada y la autonomía de cada especialista así lo manifiestan. Pero la aportación estatal no quedó a la zaga. No escasearon los esfuerzos a lo largo del XIX en la búsqueda de uniformidad, e incluso de la medición del territorio —con la primera ley de planificación—, apoyada en una ambiciosa labor geométrica, topográfica, catastral y temática. También fueron frecuentes los proyectos de creación de un «lenguaje topográfico», herencia del sueño racional de la Revolución francesa, diluidos en diferentes tipologías de mapas utilizados en la ingeniería. Sí se alcanzaron algunos acuerdos en la estandarización en la cartografía temática y en ciertos aspectos de la elaboración de los mapas.

Como aseguraba el militar e ingeniero Ángel Rodríguez de Quijano, la cartografía recorrió caminos complejos de representación gráfica, geometría y lenguaje simbólico, con diversos usos y tipologías. Y es que este ingeniero trabajó en proyectos de ferrocarril, fue profesor de Dibujo, difundió la técnica de los planos acotados y elaboró una cartilla de signos convencionales.

BIBLIOGRAFÍA

- ANGUITA CANTERO, Ricardo: «La planimetría urbana como instrumento para la transformación de la ciudad en el siglo XIX: la incidencia de los planos geométricos en España», *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 169 (julio-diciembre de 1998), pp. 563-589.
- BURGUEÑO, Jesús: *Geografía política de la España constitucional: la división provincial*, Madrid, Centro de Estudios Constitucionales, 1996.
- (ed.): *El mapa com a llenguatge geogràfic: recull de textos històrics (ss. XVII-XX)*, Barcelona, Societat Catalana de Geografia, 2008.
- [*Carto*]grafia. *Testimoni visual de les terres de Lleida a través del temps (segles XIII-XIX)*, Lleida, Institut d'Estudis Ilerdencs / Diputació de Lleida, 2009.
- CAPEL, Horacio, Joan Eugeni SÁNCHEZ y Omar MONCADA: *De Palas a Minerva: la formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*, Barcelona, Ediciones del Serbal / CSIC, 1988.
- CASALS COSTA, Vicente: *Los ingenieros de montes en la España contemporánea, 1848-1936*, Barcelona, Ediciones del Serbal, 1996.
- «Los primeros trabajos cartográficos de la Comisión del Mapa Forestal de España: el caso de los mapas de las provincias de Barcelona y Huesca», *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 65 (2009), pp. 361-371.
- CASTEL Y CLEMENTE, Carlos: *Descripción física, geognóstica, agrícola y forestal de la provincia de Guadalajara*, Madrid, Impr. y Fund. de Manuel Tello, 1881.
- CASTRO SOLER, Joaquín, y Antoni TEN ROS: «El proyecto de mapa España. Los primeros años: 1853-1857», *Estudios Geográficos*, LIV/213 (1993), pp. 543-574.

- CASTRO SOLER, Joaquín, y José Ignacio MURO MORALES: «Carles Ibàñez e Ibàñez de Ibero. Barcelona, 1825-Niça, 1891. Geodèsia i metrologia», en *Ciència i tècnica a l'època contemporània als Països Catalans: una aproximació biogràfica*, Barcelona, Fundació Catalana per la Recerca, 1995, t. 1, pp. 349-380.
- COMISSION DE ESTADÍSTICA GENERAL DEL REINO: *Anuario estadístico de España correspondiente a los años 1859 y 1860*, Madrid, Imprenta Nacional, 1860.
- Congrès Géologique International. Compte rendu de la 2^{ème} session*, Bologne, 1881, Bolonia, Imprimerie Fava et Garagnani, 1882.
- Congrès Géologique International. Compte rendu de la 3^{ème} session*, Berlin, 1885, Berlín, A. W. Schade's Buchdruckerei, 1888.
- Congrès Géologique International. Compte rendu de la 4^{ème} session*, Londres, 1888, Londres, Dulau et Cie., 1891.
- Congrès Géologique International. Compte rendu de la VII session*, St. Pétersbourg, 1897, San Petersburgo, Imprimerie de M. Staussulévitch, 1899.
- CORTÁZAR, Daniel de: «Clasificación y colorido de los mapas geológicos», *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, IX (1882), pp. 319-332.
- «Bosquejo físico-geológico y minero de la provincia de Teruel», *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*, XII (1885), pp. 263-607.
- CUERPO DE INGENIEROS DE MONTES: *Exposición Universal de Barcelona 1888. Catálogo razonado de los objetos expuestos por el Cuerpo de Ingenieros de Montes*, Madrid, Impr. de Moreno y Rojas, 1888.
- DAINVILLE, François de: *Le langage des géographes: termes, signes, couleurs des cartes anciennes, 1500-1800*, París, A. et J. Picard, 2002 (ed. facs. de la de París, 1964).
- FERNÁNDEZ CEPEDAL, José Manuel: «Lengua universal, lengua francesa y patois durante la Revolución francesa», *El Basilisco*, 2.^a época, 1 (1989), pp. 41-48.
- FERNÁNDEZ DE CASTRO, Manuel: *Notas para un estudio bibliográfico sobre los orígenes y estado actual del mapa geológico de España*, Madrid, Impr. y Fund. de Manuel Tello, 1874.
- FIRKET, A.: «Congreso geológico internacional», *Revista Minera y Metalúrgica*, XXXVI (1885), pp. 375-377.
- FRONCHOSO, Manuel, y José SIERRA: «La construcción de los mapas geológicos españoles del siglo XIX: observación, conceptualización y representación», *Ería: Revista Cuatrimestral de Geografía*, 64-65 (2004), pp. 221-259.
- GAVIRA, Carmen: *Miradas desde la ingeniería: redes e infraestructuras en Madrid*, Madrid, Celeste, 1996.
- GÓMEZ MENDOZA, Josefina: *Urbanismo e ingeniería en el siglo XIX: reforma interior de las ciudades y movilidad*, Madrid, Real Academia de Ingeniería, 2006.
- GÓMEZ PÉREZ, José: «El geógrafo don Francisco Coello de Portugal y Quesada», *Estudios Geográficos*, XXVII (1966), pp. 249-308.
- GUERRERO VILLALBA, Carmen: «El atlas de Francisco Coello en el contexto del grabado de reproducción y la estampa culta del siglo XIX», *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 169 (julio-diciembre de 1998), pp. 601-635.

- HARLEY, John Brian: «Mapas, conocimiento y poder», en *La nueva naturaleza de los mapas*, México, Fondo de Cultura Económica, 2005, pp. 79-112 (ed. original, 1988).
- HERNÁNDEZ GÓMEZ-ARBOLEYA, Enrique: «Cartografía y construcción de carreteras en Granada en el siglo XIX», *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 169 (julio-diciembre de 1998), pp. 513-519.
- HUMBOLDT, Alexander von: «Introducción a la pasigrafía geológica», en Andrés Manuel del Río: *Elementos de orictognosia*, México, Mariano José de Zúñiga, 1805, pp. 160-177 + 3 grab. (ed. facs., México, UNAM, 1992).
- *Essai géognostique sur le gisement des roches dans les deux hémisphères*, París, F. G. Levrault, 1823.
- «Instrucción para el orden que deben seguir en las operaciones los ingenieros encargados de la rectificación de las cartas geográficas de las provincias y de las divisiones territoriales, a fin de que haya la debida uniformidad en los trabajos», en *Disposiciones relativas a la rectificación del mapa de España de orden del Ministerio de la Gobernación*, Madrid, I. Boix, Imprenta y Librero, 1841, pp. 17-20 + 19 láms.
- JAMESON, Robert: «On colouring geognostical maps», *Memoirs of the Wernerian Natural History Society*, I (1808), pp. 149-161.
- JORDANA, José: *Apuntes bibliográfico-forestales*, Madrid, Manuel Minuesa, 1875.
- LEONHARD, Gustav: *Übersichtskarte von Spanien von Ezquerra del Bayo*, Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagshandlung und Druckerei, 1851.
- LÓPEZ GÓMEZ, Antonio, y Carmen MANSO PORTO: *Cartografía del siglo XVIII: Tomás López en la Real Academia de la Historia*, Madrid, Real Academia de la Historia, 2006.
- MALLADA Y PUEYO, Lucas: *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Impr. de L. Aguado, 1897.
- MARTÍNEZ, Esther: «El general Rodríguez de Quijano y Arroquia y su colección de signos convencionales», *Revista de Geografía*, XXIII (1989a), pp. 75-86.
- «La representació de les vies de comunicació a la cartografia espanyola (1850-1914)», *Revista Catalana de Geografia*, 9 (1989b), pp. 53-61.
- MIRANDA GONZÁLEZ, Miguel Ángel: «Pedro García Faria, ingeniero de caminos (y arquitecto)», *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, X/221 (15 de septiembre de 2006). <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-221.htm>> [Fecha de consulta, noviembre 2010].
- MONMONIER, Mark: *How to lie with maps*, Chicago / Londres, University of Chicago Press, 1991.
- MONTANER I GARCÍA, M. Carme: «Els treballs cartogràfics de l'exèrcit francès a Catalunya: l'entrada dels Cent Mil Fills de Sant Lluís i l'establiment del "Bureau Topographique de Barcelone": 1832-1828», *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, 33-34 (1992), pp. 243-250.
- «El mapa d'Ildefons Cerdà de 1856: el primer mapa de Vic amb corbes de nivell?», *Ausa*, XVI/132-133 (1994), pp. 71-80.

- MONTANER I GARCÍA, M. Carme: *Mapes i cartògrafs a la Catalunya contemporània (1833-1941): els inicis i la consolidació de la cartografia topogràfica*, Barcelona, Rafael Dalmau / Institut Cartogràfic de Catalunya, 2000.
- *Cartografia de la província de Barcelona, 1833-2000*, Barcelona, Diputació, 2003.
- MURO MORALES, José Ignacio: «Un plano para una nueva ciudad: la Brigada Topográfica y de Ensanche del Cuerpo de Ingenieros del Ejército (1846-1852)», en Horacio Capel, José M.^a López Piñero y José Pardo Tomás (coords.): *Ciencia e ideología en la ciudad (I). I Coloquio Interdepartamental (Valencia, 1991)*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1992, pp. 229-242.
- *El pensamiento militar sobre el territorio en la España contemporánea*, Madrid, Ministerio de Defensa, 1993, 2 vols.
- «Ingenieros militares: la formación y la práctica profesional de unos oficiales facultativos», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. v: *El Ocho-cientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Pressas Universitarias de Zaragoza, 2007a, pp. 589-643.
- «Las técnicas de levantamiento de los geómetras», en Carme MONTANER, Francesc NADAL y Luis URTEAGA (eds.): *La cartografia cadastral a Espanya (segles XVIII-XX)*, Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya, 2007b, pp. 53-64.
- Francesc NADAL y Luis URTEAGA: «Los trabajos topográfico-catastrales de la Junta General de Estadística (1856-1870)», *Ciudad y Territorio*, 94 (1992), pp. 33-59.
- Francesc NADAL y Luis URTEAGA: *Geografía estadística y catastro en España 1856-1870*, Barcelona, Ediciones del Serbal, 1996.
- Luis URTEAGA y Francesc NADAL: «La fotogrametría terrestre en España (1914-1958)», *Investigaciones Geográficas*, 27 (2002), pp. 151-172.
- NADAL, Francesc: «El desenvolupament de la cartografia topogràfica a Barcelona i a Mont-real, 1855-1925: un estudi comparatiu», en Horacio Capel y Paul-André Lin-teau: *Barcelona-Montréal: Desarrollo urbano comparado / Développement urbain comparé*, Barcelona, Universitat de Barcelona / Geo Crítica Textos de Apoyo, 1998, pp. 315-329.
- y Jesús BURGUEÑO: «La enseñanza de la agrimensura en las academias de Bellas Artes: el caso de Barcelona (1852-1869)», *CT: Catastro*, 63 (2008), pp. 81-97.
- y Luis URTEAGA: «Cartografía y Estado: los mapas topográficos nacionales y la estadística territorial en el siglo XIX», *Geo Crítica*, 88 (julio de 1990), pp. 5-93.
- y Luis URTEAGA: «Francisco Coello en la Junta de Estadística», *Boletín del Instituto de Estudios Giennenses*, 169 (julio-diciembre de 1998), pp. 209-230.
- Luis URTEAGA y José Ignacio MURO: «Reconocer el territorio, medir la propiedad y evaluar los recursos: la Junta General de Estadística y la cartografía temática en España (1856-1870)», *Suplementos Anthropos*, 43 (1994), pp. 66-74.

- NADAL, Francesc; Luis URTEAGA y José Ignacio MURO: «La documentación cartográfica de la contribución de inmuebles, cultivo y ganadería: el caso de la provincia de Barcelona (1845-1895)», *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 40 (2005), pp. 83-109.
- *El territori dels geòmetres: cartografia parcel·laria dels municipis de la província de Barcelona (1845-1895)*, Barcelona, Diputació, 2006.
- NÁRDIZ ORTIZ, Carlos: «La representación del territorio en los planos históricos de la red viaria», *Revista de Obras Públicas*, año 140, 3323 (julio-agosto de 1993), pp. 41-49.
- PALADINI CUADRADO, Ángel: «Cartografía militar española de Indias», *Militaria. Revista de Cultura Militar*, 1, 1989, pp. 57-89.
- PALSKY, Gilles: «Le projet de standardisation de la cartographie militaire en France au XIX^e siècle», en María Helena Dias *et al.* (coords.): *História da cartografia militar (séculos XVIII-XIX)*, Viana do Castelo, Câmara Municipal, 2005, pp. 47-69.
- PARRA DEL RÍO, M.^ª Dolores: *Los «Planos geognósticos de los Alpes, la Suiza y el Tiro» de Carlos de Gimbernat*, Madrid, Doce Calles, 1993.
- PASCUAL, Agustín: «Sistemas forestales», *Revista Forestal, Económica y Agrícola*, III (1870), pp. 49-59, 97-119, 145-162, etc.
- «Montes, ciencia de», en Agustín Alfaro y Agustín Esteban Collantes: *Diccionario de agricultura práctica y economía rural*, Madrid, Dubrull, 1852-1855, t. iv, pp. 485-567.
- *Rapport sur l'État, l'organisation et le progrès de la statistique en Espagne*, Madrid, Impr. de T. Fortanet, 1872.
- PRO RUIZ, Juan: *Estado, geometría y propiedad: los orígenes del catastro en España (1715-1941)*, Madrid, Centro de Gestión Catastral y Cooperación Tributaria, 1992.
- «Procès-verbal des conférences de la commission chargé par les différents services publics intéressés à la perfection de la topographie, de simplifier et de rendre uniformes les signes et les conventions en usage dans les cartes, les plans et les dessins topographiques», *Mémorial Topographique et Militaire*, año xi, 3.^{er} trim., 5 (1803), secc. 1.^ª, cap. iii («Topographie»), pp. 1-64.
- QUIRÓS LINARES, Francisco: *Las ciudades españolas a mediados del siglo XIX: vista de ciudades españolas de Alfred Guesdon. Planos de Francisco Coello*, Valladolid, Ámbito, 1991.
- REGUERA RODRÍGUEZ, Antonio T.: *Geografía de Estado: los marcos institucionales de la ordenación del territorio en la España contemporánea (1800-1940)*, León, Universidad, 1998.
- ROBINSON, Arthur H. Early: *Thematic mapping in the history of cartography*, Chicago / Londres, University of Chicago Press, 1982.
- RODRÍGUEZ DE QUIJANO Y ARROQUIA, Ángel: *Tratado sobre las escalas gráficas en general y sus aplicaciones al dibujo geométrico*, Madrid, Impr. del Memorial de Ingenieros, 1869.
- RUBINOVICH KOGAN, Raúl: «Andrés Manuel del Río y sus *Elementos de orictognosia*», est. introd. a la ed. facs. de Andrés Manuel del Río: *Elementos de orictognosia*, México, UNAM, 1992, pp. 3-70.

- SASTRE DOMINGO, Jesús: «Hojas kilométricas. Catastro inacabado de Madrid: imágenes del pasado con todo el futuro por delante», *Topografía y Cartografía*, 114 (enero-febrero de 2003), pp. 14-26.
- SILVA SUÁREZ, Manuel: «El lenguaje gráfico: inflexión y pervivencia», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. I: *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular*, 2.^a ed., Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008, pp. 243-310.
- URTEAGA, Luis: *Vigilia colonial: cartógrafos militares españoles en Marruecos (1882-1912)*, Barcelona, Bellaterra / Ministerio de Defensa, 2006.
- «La Escuela del Catastro», en *150.^o aniversario de la creación de la Comisión de Estadística General del Reino*, Madrid, Instituto Nacional de Estadística, 2007, pp. 267-286.
- «Dos décadas de investigación sobre historia de la cartografía catastral en España (1998-2008)», *CT: Catastro*, 63 (2008), pp. 7-30.
- y Francesc NADAL: *Las series del mapa topográfico de España a escala 1:50.000*, Madrid, Ministerio de Fomento, 2001.
- Francesc NADAL y José Ignacio MURO: «Imperialismo y cartografía: la organización de la comisión española de Estado Mayor en Marruecos (1881-1882)», *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, VII/142 (1 de junio de 2003), <<http://ub.es/geocrit/sn-142.htm>>. [Fecha de consulta, noviembre 2010].
- Francesc NADAL y José Ignacio MURO: «Los planos urbanos de la Comisión de Marruecos (1882-1908)», *Ería: Revista Cuatrimestral de Geografía*, 64-65 (2004), pp. 261-283.
- VALLEJO POUSADA, Rafael: *Reforma tributaria y fiscalidad sobre la agricultura y la propiedad en la España liberal, 1845-1900*, Zaragoza, Prensas Universitarias de Zaragoza, 2001.
- VIDAL RAICH, Esther: «El mapa de comunicaciones de Francisco Coello (1855)», *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 19 (1994), pp. 105-112.
- WEIDMANN, Marc, y Luis SOLÉ SABARÍS: «Noticia de Carlos Gimbernat y de sus mapas geológicos de Europa Central, Alpes, Francia e Italia a principios del siglo XIX», *Acta Geológica Hispánica*, 18/2 (1983), pp. 75-86.
- WILLKOMM, Moritz: *Die Strand- und Steppengebiete der iberischen Halbinsel und deren Vegetation*, Leipzig, Friedrich Fleischer, 1852a.
- «Bosquejo orográfico de la Península Ibérica», trad. y notas de Antonio Álvarez de Linera, *Boletín Oficial del Ministerio de Fomento*, XIV (1852b), pp. 353-378.
- «Sobre la constitución geológica de España», trad., notas y coment. de Antonio Álvarez de Linera, *Revista Minera*, IV (1853), pp. 445-449, 467-478, 499-510, 543-551 y 582-588.
- WOODWARD, Denis (ed.): *Five centuries of map printing*, Chicago / Londres, University of Chicago Press, 1975.

3

El dibujo de la arquitectura y las obras públicas

Javier Ortega Vidal
Universidad Politécnica de Madrid

El dibujo, entendido como construcción diferida de la realidad, es un potente medio de conocimiento y transformación del marco físico de las actividades humanas; su contribución al desarrollo de la cultura occidental, desde el siglo xvi hasta la actualidad, parece un hecho incuestionable¹.

El concepto del dibujo que aquí se propone atiende ante todo a la relación que se produce entre las líneas tendidas sobre el papel y la macla tridimensional de masas y vacíos que constituye la realidad material; el hilo argumental se fundamenta así en la idea de enfocar prioritariamente el dibujo como «construcción diferida» de esa realidad material. Enunciar construcción supone una actitud precisa, mediante la cual el dibujo establece una analogía de la realidad reflejando el orden y la medida de las cosas, y advertir que es diferida resalta dos aspectos fundamentales: el primero se refiere a la distinta naturaleza del dibujo y la realidad material; el segundo atiende a la distinción temporal entre ambos. De esta manera, se trata de evidenciar que el dibujo y la realidad no son la misma cosa y que su relación en función del tiempo puede tener o contemplar sentidos diferentes: bien puede dirigirse a reflejar lo que ya existe, bien puede prefigurar y conformar lo que ha de ser.

A partir de estas premisas, se tratará de recorrer en lo que sigue el proceso de evolución del dibujo en la España del siglo xix, aplicado preferentemente al conocimiento y la conformación material del entorno construido por el ser humano². Atendiendo a este papel mediador del dibujo en su relación con la realidad material, será necesario considerar simultáneamente tres aspectos en parte entrelazados. En primer lugar, observar la propia consideración autónoma de la ciencia y el arte del dibujo, su cuerpo o marco teórico en relación con sus aplicaciones prácticas; este aspecto

¹ EDGERTON, S. Y.: *The heritage of Giotto's Geometry: art and science on the eve of the scientific revolution*, Nueva York, Cornell University Press, 1991.

² Esta aportación se plantea de manera complementaria, a modo de «escala» intermedia, entre las visiones del dibujo en relación con las máquinas y la cartografía, que aparecen en este mismo volumen.

conectará a su vez con la faceta fundamental de la formación de los diversos técnicos en particular y con el valor de la difusión y la extensión del saber a través de las obras publicadas. En segundo lugar, habría que atender a las aplicaciones del dibujo con respecto al conocimiento, análisis y diagnóstico de la realidad tal cual es, centrandó este aspecto en la noción actual de levantamiento. Finalmente, un tercer enfoque atenderá al uso del dibujo para proyectar las operaciones de transformación de la realidad. En definitiva, el dibujo ha de ser considerado desde la relación triangular formada por la teoría, el levantamiento y el proyecto, reconociendo entre sus resonancias su potente capacidad de actuación diferida.

Desde este planteamiento, en el que se engloban a la par la arquitectura y la ingeniería, convendría tener asimismo algunas prevenciones básicas para matizar una serie de lugares comunes que pueden incitar a la confusión, y que se centran en dos aspectos fundamentales. El primero de ellos tendría que ver con la habitual y a veces descarnada escisión entre lo artístico y lo técnico. El segundo consistiría en el peligro de aludir sin mayores prevenciones al «espíritu de los tiempos», lo que hace suponer un saber general indiscriminado en relación con una determinada época, sin reconocer que en todo momento histórico coexisten muy distintos niveles de conocimiento en función de las capacidades y las circunstancias de cada individuo.

Ya que se pretende analizar un fragmento temporal de este aspecto del conocimiento, es preciso estructurar a su vez cierta estrategia o secuencia básica en la observación de este desarrollo. Para ello resulta necesario plantear un estado básico de la cuestión a principios del siglo XIX, para acometer acto seguido una división de tiempos jalonada por la progresiva consolidación de lo que hoy podríamos entender por *área de conocimiento*. En este sentido, será precisamente el bloque teórico apoyado por la estructuración y la difusión del saber a través de las enseñanzas oficiales y las publicaciones la principal pauta para establecer la secuencia.

I

EL DIBUJO DE LA ARQUITECTURA Y LAS OBRAS PÚBLICAS EN LA ESPAÑA DE 1800

Resulta ya suficientemente conocido que esta distinción temática entre arquitectura e ingeniería es fruto de lo que va a ocurrir a lo largo del siglo XIX. Sin pretender resumir aquí parte de lo que ha sido tratado en los cinco tomos anteriores de esta obra, baste enunciar o recordar que aún a finales del período ilustrado resultaba un tanto difícil precisar los límites temáticos estrictos entre la arquitectura y la obra pública.

El conjunto de construcciones que modificaban el marco físico respondían así a diversos factores relativos tanto a la formación y las competencias de los artífices como a los diversos organismos de promoción y control de estas actuaciones. La institucionalización del Cuerpo de Ingenieros Militares y la creación de la Academia de Bellas Artes constituyeron las referencias básicas de la estructuración progresiva

de las diversas facetas de la construcción a lo largo del siglo XVIII. Siguiendo un esquema temporal básico, es el Cuerpo de Ingenieros Militares el que primero se institucionaliza, en una secuencia que interfiere y resuena con algunas interesantes facetas colaterales en lo relativo a su posible formación gráfica como son los cuerpos de la Marina y de Artillería. En relación con la arquitectura, el nuevo marco institucional comenzará con la Junta Preparatoria (1744), que devendrá oficialmente en Academia (1752) para regular progresivamente la docencia y las atribuciones sobre la construcción, en lucha competencial con la tradición gremial apoyada por el Consejo de Castilla. Fuera de la villa y corte, habría que destacar igualmente la creación de las sucursales académicas y las escuelas de dibujo que se fueron estableciendo en las principales ciudades³.

Siendo esto en general ya conocido, más difícil resultaría precisar sintéticamente las estrategias y los contenidos relativos a la formación gráfica, general y específica, desarrollada en estos incipientes núcleos docentes. En el tronco común de las enseñanzas encontraríamos en primer lugar la añeja asociación entre matemáticas y dibujo, que, a través de un genérico concepto de geometría, se iría concretando en aplicaciones específicas según cada temática concreta. En las facetas comunes de la construcción, la tríada formada por el conjunto de planta, sección o perfil y alzado constituiría un lugar común de las enseñanzas, complementada por alguna aproximación más o menos intensa a los órdenes arquitectónicos o a los principios de las diversas estereotomías de los materiales, referidos a la piedra, el ladrillo y la madera.

Atendiendo a las facetas gráficas diferenciadas de estos centros docentes podríamos señalar dos aspectos algo más específicos, aunque convendría recordar en este punto lo ya enunciado sobre la conveniencia de contemplar con cierta continuidad las facetas técnicas y artísticas del dibujo. En primer lugar, en lo que normalmente se suele adscribir al primer aspecto, aparecería el tema relativo a las técnicas de levantamiento de planos para la documentación de edificios, fortalezas, ciudades o territorios. En este sentido, y en consonancia con su aplicación estratégica, empezariamos a notar una mayor presencia en las enseñanzas relativas a la ingeniería. No obstante, el tema del levantamiento no resultaba ajeno al campo de la arquitectura; son conocidos numerosos ejemplos de documentación gráfica sobre edificios, lugares e incluso territorios, de una clara operatividad unida a una indudable calidad gráfica.

En relación con la faceta que se suele adjetivar como artística, resulta clara la tradición del dibujo de la arquitectura hermanada con la pintura y la escultura; no en vano desde el siglo XVI se había enunciado el dibujo como tronco común de las denominadas, en conjunto, *bellas artes*. Frente a la vertiente más pautada en el ramo de las ingenierías, que

³ Tendríamos así, entre otras, la Academia de San Carlos de Valencia (1768), la Escuela de Dibujo de las Tres Nobles Artes de Sevilla o de Santa Isabel de Hungría (1771), la Escuela de Nobles Artes de Barcelona (1775), la de San Luis en Zaragoza (1792) y, ya en el cambio de siglo, la de la Purísima Concepción de Valladolid (1802).



3.1. Christian Riegger: Tratado sobre arquitectura civil, 1763: Originalmente editado en latín, traducido y actualizado por Miguel Benavente en colaboración con el propio autor; supone una referencia de interés sobre el encuentro entre la tradición jesuítica de las matemáticas (Riegger perteneció a la Compañía) y la nueva institución académica; en definitiva, sobre la cultura arquitectónica española a finales del XVIII, y en especial sobre el dibujo arquitectónico. Amplía así la clásica tríada vitruviana (icnografía, ortografía y escenografía) con términos como idea, proto-grafía, diagrama, etc. Tiene interés igualmente la inclusión de la perspectiva militar junto a la perspectiva clásica de la tradición renacentista. Sirvan estas láminas, grabadas por Juan Minguet para ilustrar parte de las interesantes y escasamente difundidas ideas sobre el dibujo que se encuentran implícitas en este tratado.

se concretaría además con un trazado más apoyado en diversos instrumentos, este aspecto introduciría un sesgo más suelto y manual, objeto específico de una formación y distinción en sí misma valorada, y podríamos añadir que un tanto mitificada⁴. En términos académicos, esta vertiente del dibujo se tradujo al menos en dos aspectos: en primer lugar, una estrategia docente basada en las «salas», en parte compartida con los otros estudios de la Academia⁵; en segundo lugar, la consolidación de un sistema de aprendizaje y control conocido como secuencias *de repente* y *de pensado* (en términos actuales, *croquización* y *acabado*). Rasgo también específico de la formación académica era la mayor dedicación a los órdenes arquitectónicos, sufriendo un tanto en este equilibrio los desarrollos avanzados sobre los temas constructivos de la estereotomía.

Otro baremo complementario con el tema que intentamos esbozar lo constituiría el conjunto de textos de apoyo docente y profesional, bien sean manuscritos o publicados. En este sentido hay que resaltar el atraso general de nuestro país con respecto a las referencias europeas. Al igual que ocurrió en los siglos anteriores, la preocupación constante de las academias tanto militares como civiles se centró en procurar textos para la formación, bien traduciendo obras extranjeras, bien exigiendo la producción específica a los profesores. Como ocurrirá a lo largo del siglo XIX, la primacía en la producción y publicación de textos sobre el conocimiento se avanzará desde el ámbito militar⁶, destacando adicionalmente el sofisticado nivel gráfico relativo a las construcciones navales⁷. En lo que a la arquitectura se refiere, habría que esperar a la segunda mitad del siglo para atender a las diversas publicaciones relativas al saber específico, muchas de ellas promovidas desde la Academia⁸.

⁴ Desde principios del siglo XVII en Roma se había consolidado la especie de que el boceto era la expresión numinosa más cercana a la *idea*; este tipo de producto gráfico era así lo más parecido al dibujo interno o concepción mental, frente al dibujo externo, producto más elaborado y, por lo tanto, en principio, menos valorado.

⁵ M. RUIZ ORTEGA, 1989; J. M. PRIETO GONZÁLEZ, 2002.

⁶ Así, tendríamos, entre otros, los tratados manuscritos de Mateo Calabro (1733) y de Lucuze (desde 1739), la traducción de Vauban por Ignacio Sala (1742), el curso de Pedro Padilla (1753-1756) o la traducción del tratado de fortificación de Müller realizado por Miguel Sánchez Taramas (1769).

⁷ Del que constituiría un intenso ejemplo la obra de Jorge Juan Santacilia (1713-1773), publicada un año antes de su muerte con el título de *Examen marítimo*; como texto docente para la Academia había redactado, además, en 1757 el *Compendio de navegación*. A este ámbito militar pertenece la traducción del tratado de Buchotte realizada en 1778 por Antonio Gabriel Fernández y editada en Sevilla con el título de *Compendio de la geometría elemental, especulativa y práctica: forma de levantar planos y modo de hacer las tintas para su manejo*.

⁸ Podríamos recordar así el compendio del *Vitruvio* de Perrault de Joseph de Castañeda (1761), los *Elementos de la arquitectura civil* de Christian Riegger (1763), los *Papeles críticos* de Diego de Villanueva (1766), *El arquitecto práctico* de Antonio Plo y Camín (1767), el tratado de los cortes de cantería de Simonin, traducido y editado por Torres y Asensio (1795), y sobre todo la obra enciclopédica de Bails sobre los *Elementos de matemáticas* (1772-1783), entre los que destacaría el tomo IX, sobre la arquitectura civil (1796).

Al comienzo del siglo XIX tiene interés plantearse finalmente cuál era el estado de las técnicas y los instrumentos de dibujo en sus dos grandes categorías relativas a los aspectos de trazado y medición. Ante la falta de estudios específicos acerca de estas facetas en nuestro país, esbozaremos algunas precisiones sobre el asunto⁹.

Era común, así, disponer de tableros de madera para fijar sobre ellos los distintos formatos de papel, que habían de ser pegados entre sí para conseguir grandes tamaños. Sobre los bordes de estos tableros se apoyarían las reglas en forma de T para establecer paralelas y cartabones para formar perpendiculares. El trazado inicial se realizaba con punzón y minas de plomo o grafito insertado en un soporte metálico¹⁰, y para la tinta se utilizaba el tiralíneas. El trazado de curvas se confiaría a los distintos compases y a algunas plantillas, y existiría además un conjunto de instrumentos de apoyo, como el compás de reducción o el de puntas secas, desde una larga tradición el emblema o atributo simbólico de las profesiones ligadas a la construcción. Este instrumento servía a su vez para la transferencia de medidas de la escala gráfica o pitipié del dibujo; una de las características más destacadas del siglo, fundamentalmente en el ámbito militar, es la preocupación por la sistematización de las mismas¹¹. Como costumbre general en el ámbito de la construcción, el trazado lineal se complementaba con tratamientos superficiales a la aguada, y en determinados casos se establecía un virtuosismo notable en el tratamiento de la luz y las sombras. A su vez, y al igual que ocurría en el caso de las escalas, estos tratamientos cromáticos fueron objeto de diversos ensayos de sistematización en cuanto a sus códigos simbólicos para distinguir conceptos como estado actual, derribos y nuevas construcciones¹². En relación con el levantamiento, las estrategias fundamentales de todo tiempo y lugar siempre han sido el control coordinado de distancias y ángulos. Se conoce el uso de las cadenas de agrimensor para las distancias y el del grafómetro como aparato específico para las de medición angular, apoyado ocasionalmente por la brújula. Consta igual-

⁹ La referencia genérica habitual sobre los instrumentos de dibujo es M. HAMBLY: *Drawing instruments, 1580-1980*, Londres, Sotheby's, 1988. Para una idea del estado del dibujo desde la cultura francesa véase C.-M. DELAGARDETTE: *Nouvelles règles pour la pratique du dessin et du lavis, de l'architecture civile et militaire*, París, Barrois, 1803 (ed. facs., Madrid, EGA / ETSAM, 1988, con estudio de Javier Girón Sierra).

¹⁰ En 1761 Kaspar Faber funda en Núremberg la fábrica de lápices de madera con grafito mezclado con azufre, antimonio y resinas. Otro gran avance se producirá en 1795, cuando el químico francés Nicolas-Jacques Conté patente la combinación del grafito con arcilla para procurar los diversos grados de intensidad o dureza del trazado con lápiz.

¹¹ En el Archivo General de Simancas se conserva un cuadro de normativa de escalas gráficas, realizado en 1756, formado a partir de las relaciones del sistema metrológico de leguas, millas, varas, pies y fracciones del mismo.

¹² Véase al respecto el texto «Un manuscrito del siglo XVIII», conservado en el Museo Lázaro Galdiano y publicado, con nota introductoria de Delfín Rodríguez Ruiz, en *El San Juan español, 1519-1898: mapas y planos en los archivos españoles*, Madrid, Ministerio de Cultura, 1989, pp. 83-89.

mente el uso de la plancheta como aparato que permite dibujar directamente planos a escala con un determinado factor de reducción. Complemento necesario de las operaciones de medición serían los instrumentos de nivelación, con especial incidencia en los temas hidráulicos.

De gran interés y atractivo resultaría progresar en el conocimiento de la fabricación y la procedencia de estos instrumentos¹³. Formaban parte del conjunto denominado *aparatos o instrumentos matemáticos*, que conoció mayor desarrollo en relación con las técnicas de navegación y la cartografía, y en los gabinetes o laboratorios de física. Muchos de ellos eran importados, por lo que existen muy escasas referencias sobre fabricantes nacionales; se podrían citar las figuras de Diego Rostriga (1717-1783) y Joan González Figueres (1731-1807)¹⁴, junto a las de José María Baleato¹⁵ y Fulgencio Rodríguez, ligados al taller de instrumentos de Ferrol fundado en 1789.

II

EL DIBUJO EN LA PRIMERA MITAD DEL SIGLO XIX

Ya que la secuencia evolutiva sobre el uso del dibujo en la arquitectura y la obra pública en España no parece presentar grandes hitos o jalones que permitan estructurar un discurso estricto a ellos ceñido, sí parece oportuno distinguir al menos dos períodos que permitan atender con cierta nitidez de enfoque algunas cuestiones sobre el mismo. En este sentido, la inflexión más notable tal vez se establezca en la creación y la consolidación definitiva de las instituciones formativas y facultativas ligadas a la construcción del marco físico, como serían fundamentalmente las escuelas de ingenieros de caminos, con sus diversas atribuciones, y la de arquitectos. Más que a sus fechas fundacionales, la referencia temporal divisoria se establecería de manera un tanto permeable en los años cincuenta del siglo, cuando estas estructuras docentes ya habían desarrollado cierto recorrido.

II.1. *Los avances teóricos y las instituciones docentes específicas*

Durante la primera mitad del siglo XIX se va a producir un desfase de ritmos entre las escuelas de Caminos y Arquitectura. Las enseñanzas de la primera se establecen en una temprana secuencia de tres escuelas: la inicial o del Buen Retiro, 1802-1808; la efímera del Trienio Liberal, 1821-1823; y la tercera y definitiva estructurada desde 1834. Por otro lado, las de arquitectura continuaron enmarcadas en la Academia hasta el pri-

¹³ El lugar inicial de referencia institucional en este apartado se establece en la secuencia entre la Academia de Matemáticas de Felipe II y los estudios de los jesuitas en el Colegio Imperial de Madrid. Sobre los aparatos científicos, V. GUIJARRO MORA, 2002.

¹⁴ C. PUIG-PLA, 2000.

¹⁵ M. SELLÉS: «Los instrumentos y su contexto. El caso de la Marina española en el siglo XVIII», *Éndoxa: Series Filosóficas*, 19 (2005), pp. 137-158.

mer esbozo de escuela a partir de 1844, que tan solo iniciaría su independencia progresiva de la institución académica al final de la década de los años cincuenta del siglo. Esta mezcla de ritmos, autonomía y liderazgo de personalidades supondrá unas diferencias entre ambos ámbitos de enseñanza que se reflejan en diversos aspectos¹⁶.

Uno de los más notables podría establecerse en la atención y actualización en el progreso del conocimiento. En el ámbito que nos ocupa, y en relación con las nuevas estructuras docentes de Francia, se van a editar tres textos fundamentales con hondas repercusiones en la docencia y la transmisión gráfica del conocimiento de la arquitectura y la obra pública, como son *Géometrie descriptive* (1799) de Gaspard Monge (1746-1818)¹⁷, *L'art de bâtir* (1802) de Rondelet (1743-1828)¹⁸ y *Précis de leçons d'architecture* (1805) de Jean-Nicolas Durand (1760-1834)¹⁹. Con cierta relación de paralelismo, también conviene recordar en este punto la creación del nuevo sistema métrico decimal, uno de los frutos más preciosos de la Revolución francesa. Baste apuntar aquí la intensa aportación de estas obras al conocimiento gráfico aplicado a la construcción, teniendo todas en común, además de sus aportaciones específicas de carácter general, su aproximación sistemática y su clara vocación docente.

Resulta así muy significativa la temprana asunción de algunas de estas publicaciones por la Escuela de Caminos y su más tardía asimilación por los centros de formación arquitectónica. Ya en 1803 se traduce y edita la obra de Monge, incorporada como texto docente desde sus primeros momentos²⁰. Por el contrario, la labor editorial ligada al entorno de la arquitectura de la Academia seguirá una senda menos novedosa, aunque no por ello los textos editados serán menos interesantes desde nuestra actual perspectiva²¹. Parece que, al menos en la estructura académica de Madrid, se produce una inercia y una continuidad en los métodos de enseñanza generales y particulares del dibujo, frente a los planteamientos de la nueva Escuela de Caminos, que,

¹⁶ Sobre las escuelas de Caminos y de Arquitectura en el Ochocientos, pueden consultarse los capítulos 2 («Ingeniería de caminos y canales, también de puertos y faros») y 3 («La Escuela de arquitectura de Madrid y el difícil reconocimiento de la capacitación técnica de los arquitectos decimonónicos») del volumen v de esta colección, pp. 127-184 y 185-234, respectivamente.

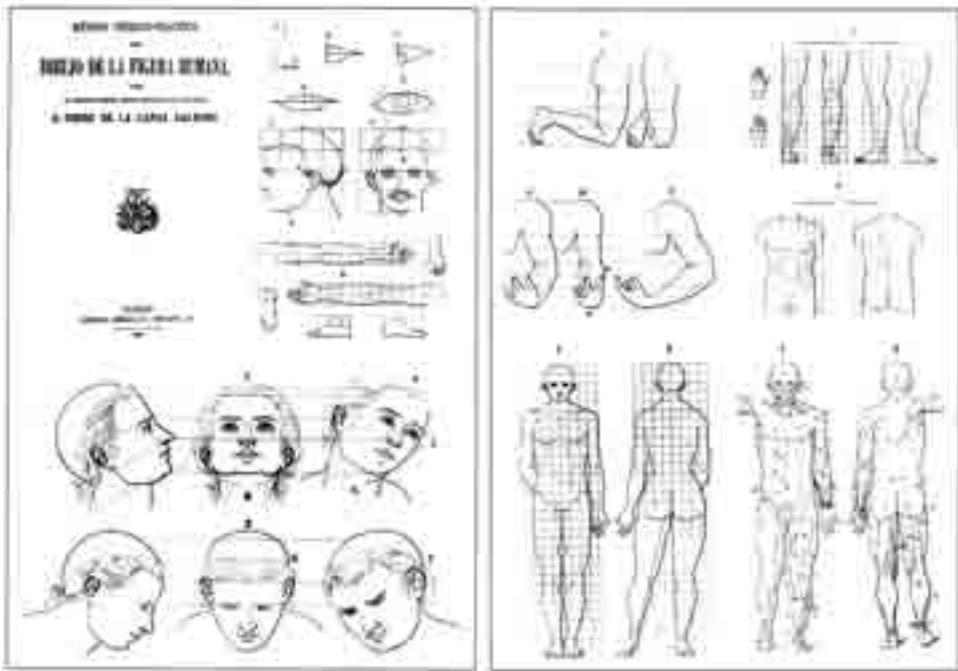
¹⁷ Véase G. MONGE: *Geometría descriptiva*, Madrid, CICC (Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, 52), 1996.

¹⁸ J. RONDELET: *L'art de bâtir*, Madrid, ETSAM / Juan de Herrera, 2001; reprod. de las láms. de la 10.^a ed., de 1843. El estudio específico sobre la obra, en R. MIDDLETON: *Jean Rondelet: the architect as a technician*, Yale University Press, 2007.

¹⁹ J.-N. DURAND: *Compendio de lecciones de arquitectura: parte gráfica de los cursos de arquitectura*, Madrid, Pronaos, 1981.

²⁰ Esta obra se publicaría en la Imprenta Real, al igual que el *Tratado de mecánica elemental* de L. B. Francoeur, en 1803; en 1805 también se tradujeron las memorias de Prony y Bossut.

²¹ Tal ocurre con la traducción e interpretación de *Los diez libros de arquitectura* de Vitruvio por Ortiz y Sanz, o con el *Arte de ver en las bellas artes del diseño*, de Francesco Milizia (1785), según traducción de Ceán Bermúdez, editado por la Imprenta Real en 1827.



3.2. Dibujo de la figura humana: Cartilla de aprendizaje del dibujo del teniente coronel y primer comandante de infantería Pedro de la Garza Dalbono, 1863: *La enseñanza genérica del dibujo, y en especial de su vertiente artística, se ha basado durante siglos en el modelo del cuerpo humano. La estructuración docente se organizaba mediante una secuencia desde las partes hacia el todo, combinando la copia de dibujos de cartillas o de modelos en yeso con la etapa final de dibujo al natural con modelos en vivo. Este recorrido se correspondía en las diversas escuelas de dibujo con el sistema de Salas, que dividía el aprendizaje en grados progresivos de dificultad y destreza (extremos, cabezas, torsos, etc.). La vigencia de este método en el siglo XIX se evidencia con la cartilla aquí considerada, que demuestra la pervivencia y la atención desde el ámbito militar a esta faceta del aprendizaje del dibujo que se suele adscribir esquemática y exclusivamente al ámbito artístico.*

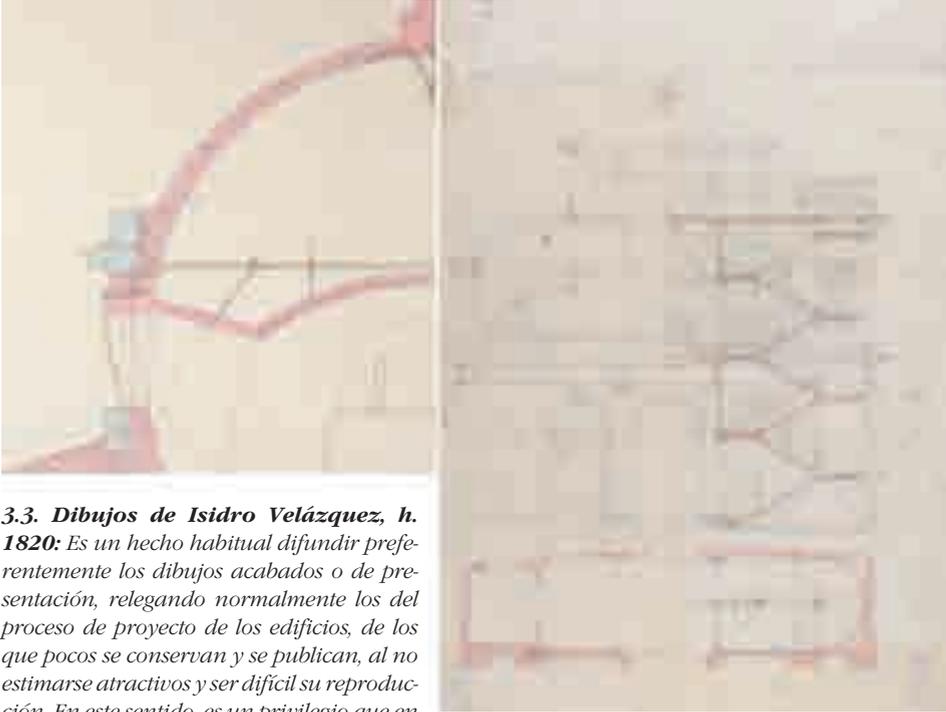
no obstante, resultarán de gran inestabilidad por las hondas repercusiones de los acontecimientos bélicos de 1808 y la demoledora restauración fernandina.

La estrategia general de enseñanza del dibujo y el proyecto en el ámbito específico de la arquitectura en la Academia mantendrá durante bastante tiempo el sistema consolidado en el siglo anterior. Partiendo de una convicción general de que el dibujo era la base común de la pintura, la escultura y la arquitectura, la formación de los futuros artistas comenzaba por un aprendizaje general del saber gráfico estructurado mediante un sistema de salas que respondían a una estrategia gradual, basada en gran medida en la aproximación al dibujo de la figura humana. De esta manera, se comenzaba el aprendizaje dibujando las partes del cuerpo, confiando en que el dominio inicial de los fragmentos, progresivamente integrados en sus respectivos conjuntos, era el método idóneo para alcanzar la destreza deseada.

Existiría así un implícito sistema de entendimiento y asimilación entre las partes y el todo que, basado en la referencia a la naturaleza a través de la figura humana, y ampliado o sublimado como sistema general de las bellas artes a través del concepto o palabra clave de la *composición*, se iría adecuando o especializando en cada ámbito específico en una secuencia posterior. Para ello existirían unas enseñanzas paralelas en relación con los principios generales del dibujo y la geometría, entre las que cabría destacar a su vez las enseñanzas sobre la perspectiva y las sombras. Este sustrato ideológico tal vez nos permitiría entender lo que desde el contexto actual resulta más difícil de valorar y que en muchas ocasiones se desprecia al ser etiquetado despectivamente como enseñanza académica.

Formado el alumno con un saber gráfico general, la confianza del sistema académico estribaba en que el conocimiento progresivo de las partes de los edificios —entre ellas su máximo emblema, los órdenes clásicos y los elementos u ornamentos de ellos emanados—, ciertas aproximaciones a sus elementos constructivos y la posterior aprehensión general de modelos o ejemplos sancionados por la tradición a través de la copia de edificios y conjuntos estarían situando progresivamente al alumno en la posición de definir sus propios proyectos. Es desde esta visión desde la que se podría entender mejor el término *composición* como expresión adecuada a su tiempo de lo que hoy designamos normalmente con la palabra *proyecto*; en paralelo a sus específicas vertientes pictóricas y escultóricas, *componer* o *poner junto* implica una operación en la que los elementos forman parte de un conjunto de disponibilidades en gran medida sancionado y donde a cada artista particular le cabe la facultad o manera concreta de agruparlos.

De este modo, en el ámbito académico de la arquitectura, la distancia entre los aprendizajes del dibujo y del proyecto era en definitiva bastante escasa, aunque siempre existía ese margen indeterminado que aportaban las capacidades o destrezas específicas de cada individuo, unido al contacto directo con el profesor, en gran medida continuado en sus estudios particulares. Será en la dilatación y la sublimación de este margen a través del Romanticismo donde se introducirá una importante brecha en el sistema académico, al aparecer nuevas componentes del proyecto centradas en dos aspectos: el sentimiento personal y las consideraciones sobre la historia. Unida a ellas, en la primera mitad del siglo XIX también se va a insertar en este margen una nueva dimensión basada en la progresiva introducción del componente que cabría adjetivar como científico. Mediante este, el margen de actuación en el proyecto resultaría progresivamente ampliado por los sistemas de comprensión y determinación de los hechos constructivos, no ya basados exclusivamente en aproximaciones sancionadas por la tradición, sino en otros sistemas generados por las nuevas posibilidades brindadas por los avances generales de los materiales y los métodos de cálculo. Es en este último aspecto en el que establecería su principal baza la Escuela de Caminos, adscribiendo sus señas de identidad a esta nutriente científica general que suponía una constante atención a las aportaciones foráneas, con su consecuente



3.3. Dibujos de Isidro Velázquez, h.

1820: Es un hecho habitual difundir preferentemente los dibujos acabados o de presentación, relegando normalmente los del proceso de proyecto de los edificios, de los que pocos se conservan y se publican, al no estimarse atractivos y ser difícil su reproducción. En este sentido, es un privilegio que en

el Archivo General del Palacio Real de Madrid se conserven dibujos de uno de los discípulos de Juan de Villanueva relativos al proceso de proyecto. De este conjunto se ofrece como muestra una sección constructiva para uno de los pabellones de la Plaza de Oriente y una planta-alzado-sección del embarcadero del Retiro. Supone el primero un singular documento sobre la construcción de bóvedas de albañilería atirantada, mientras que el segundo evidencia el uso continuado del sistema de combinación de proyecciones planas de antigua tradición, aún hoy plenamente vigente.

asimilación y difusión mediante publicaciones. Frente a estas actitudes generales, la arquitectura permanecía un tanto más aferrada a su propia tradición, de manera parecida a lo que ocurría también con las afinidades o tendencias políticas.

Atendiendo ahora a algunos detalles concretos sobre la enseñanza del dibujo en ambos centros, observemos en primer lugar los años iniciales de la tercera Escuela de Caminos, que desde el otoño de 1834 comenzó a impartir sus enseñanzas bajo las pautas de su primer director, el arquitecto, ingeniero cosmógrafo y de caminos guipuzcoano José Agustín de Larramendi Muguruza (1769-1848). Tras un examen de ingreso, las enseñanzas se desarrollaban en cinco cursos; a partir de unos principios básicos de Geometría y Trigonometría exigidos para el ingreso, la mayor carga docente se centraba en los dos primeros años, donde se estudiaba la Geometría Descriptiva y sus aplicaciones a la perspectiva y las sombras, y existía además una asignatura de Geodesia, otra de Arquitectura y otra de Dibujo. En los tres últimos cursos el dibujo se aplicaba a diversas asignaturas, como Estereotomía y Construcción; había

también un complemento de Arquitectura y una asignatura de «Diseño», que cabría entender como equivalente a Proyectos.

Resaltando el perfil de arquitecto del director hasta 1837, la carga docente específica del dibujo se confió en estos años iniciales al sevillano José García Otero (1796-1856), militar que además de ingeniero era también arquitecto desde 1827; tras su abandono de la Escuela hacia 1842, se hizo cargo de la enseñanza gráfica el ingeniero de la promoción de 1839 Ramón Echevarría († 1875). En relación con otras facetas del dibujo habría que resaltar el papel desempeñado en estos años iniciales por profesores como Genaro Pérez Villaamil (1794-1854), que impartía la asignatura Dibujo de Paisaje y era sustituido en sus ausencias por el ingeniero titulado en 1840 Alejandro Olavarría († 1854).

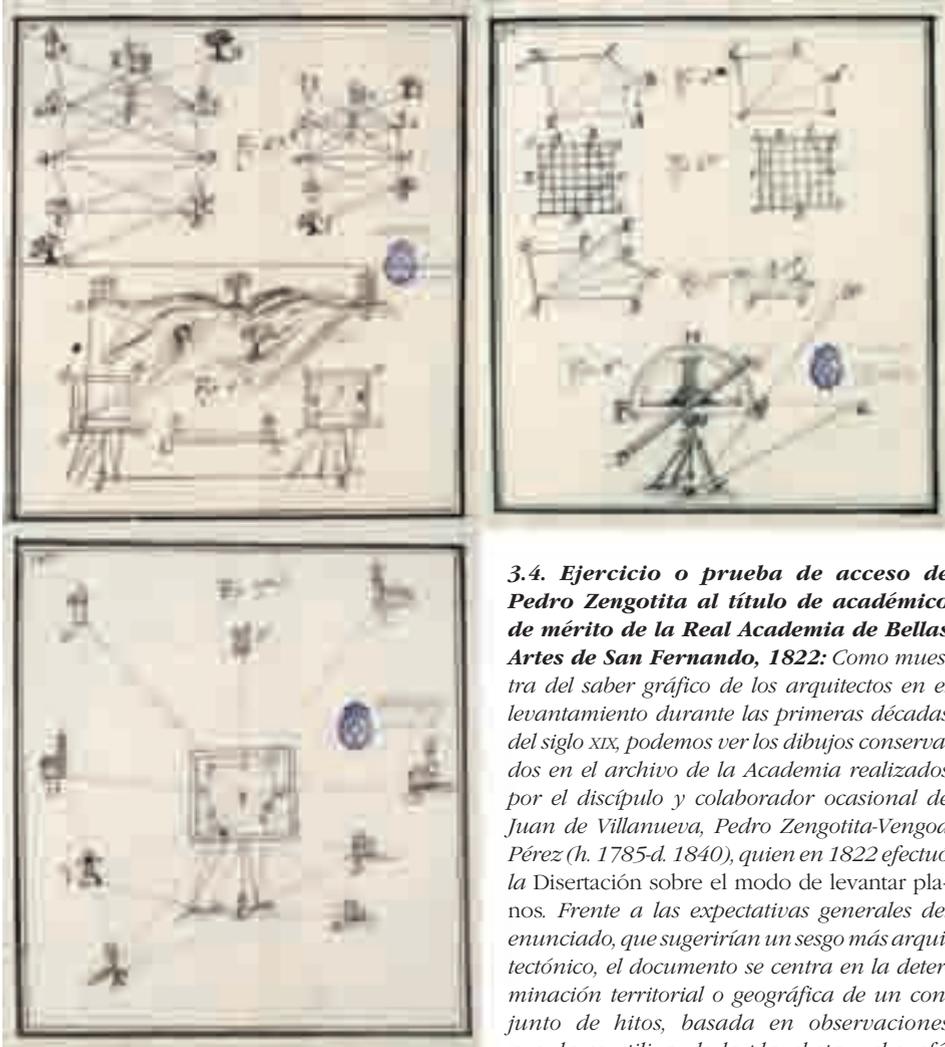
En lo que a la Escuela de Arquitectura respecta, y a pesar de los debates previos sobre la necesidad de aumentar y actualizar las enseñanzas científicas, el curso iniciado en 1845 arrastra una inercia «académica» forzada en cierta medida por el perfil un tanto anquilosado de una parte de la plantilla docente. Esto se ejemplifica ante todo a través de la figura de su primer director, el veterano arquitecto asturiano Juan Miguel de Inclán Valdés (1774-1853). Conforme a las estrategias docentes antes señaladas y tras un examen de ingreso en el que se valoraba especialmente el dibujo a mano, tenía en común con la Escuela de Caminos la enseñanza de la Geometría Descriptiva; abundaban además materias de Delineación y Lavado, aplicadas en primer lugar a órdenes y detalles y extendidas después a copias de edificios, tanto antiguos como modernos, y, tras una asignatura de Análisis de estos edificios, se finalizaba con las de Composición y Práctica del Arte. En la plantilla inicial la carga de dibujo se repartía entre varios profesores: el más antiguo era el zaragozano Atilano Sanz Pérez (c. 1790-1868) quien se encargaba de Delineación y Lavado²²; el madrileño Juan Bautista Peyronet (1812-1875) asumió la enseñanza de la Geometría Descriptiva y el sevillano Mariano Calvo Pereira (c. 1815-1885) se encargó inicialmente del apartado de Copia de Edificios.

II.2. *Otros ámbitos de aplicación del dibujo en España*

En esta visión general habría que considerar igualmente la continuidad a lo largo del siglo de las escuelas de dibujo tuteladas por la Academia en casi toda la geografía española y en algunas plazas de ultramar²³. En el artículo 17 del *Plan general para el gobierno de las escuelas de nobles artes* editado en Madrid por la Imprenta Real en 1819 se precisa: «La enseñanza en cada una de estas Escuelas se distribuirá en cuatro

²² Atilano Sanz, maestro de obras desde 1819 y arquitecto desde 1826, dimite como profesor en 1849, de modo que es sustituido por el maestro de obras (1831) y arquitecto (1844) toledano Blas Crespo Bautista (h. 1804-d. 1879), que será catedrático de Delineación para Maestros de Obras en 1852 y director interino de la Escuela de Arquitectura entre 1871 y 1875.

²³ Sobre ellas existe una amplia documentación en el Archivo de la Academia. RABASF, signaturas 2-38-1 a 2-38-32 y 2-39-1 a 2-39-12. En Madrid se establecieron en el convento de la Merced y en la calle de Fuencarral. RABASF, 5-50-1 y 5-63-3.



3.4. Ejercicio o prueba de acceso de Pedro Zengotita al título de académico de mérito de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, 1822: Como muestra del saber gráfico de los arquitectos en el levantamiento durante las primeras décadas del siglo XIX, podemos ver los dibujos conservados en el archivo de la Academia realizados por el discípulo y colaborador ocasional de Juan de Villanueva, Pedro Zengotita-Vengoa Pérez (h. 1785-d. 1840), quien en 1822 efectuó la Disertación sobre el modo de levantar planos. Frente a las expectativas generales del enunciado, que sugerirían un sesgo más arquitectónico, el documento se centra en la determinación territorial o geográfica de un conjunto de hitos, basada en observaciones angulares utilizando la plancheta y el grafómetro; a pesar de su entrañable condición, el propio registro gráfico utilizado en la exposición resulta algo decepcionante. Coincide además en este arquitecto la autoría de la publicación del *Arte de la albañilería* (1827), escrito original atribuido al propio Villanueva en el que los pocos dibujos ilustrativos resultan también de escaso atractivo.

Salas o Departamentos, a saber: principios desde las líneas geométricas hasta el dibujo de cabezas, figuras, adorno, y aritmética y geometría práctica»²⁴. En esta panorámica no convendría olvidar los núcleos sembrados a finales del siglo anterior en diversas ciudades, pues hasta la centralización procurada por la creación de la nueva

²⁴ RABASF, 1-18-34.

Escuela de Arquitectura hacia la mitad del siglo se van a impartir en estos centros enseñanzas y capacitaciones diversas ligadas al ámbito de la construcción.

Tendríamos así el caso de Valencia, con la Academia de San Carlos, que va a emitir titulaciones de arquitecto hasta que los alumnos de su ámbito geográfico se tengan que remitir necesariamente a la Escuela Central del Estado²⁵. Es en estas coordenadas donde podríamos situar la aportación teórica y gráfica del arquitecto valenciano Manuel Fornés y Gurrea (1777-1856), director de la sección de Arquitectura, quien en 1845 publicará su *Álbum de proyectos originales de arquitectura*.

Otro caso interesante lo constituye Barcelona, donde la escuela asociada a la Junta de Comercio, decidida inicialmente en 1814 y abierta como Escuela de la Lonja en 1817, desarrollará una interesante y novedosa experiencia de las enseñanzas de arquitectura. La figura personal de referencia es en este caso la de Antonio de Cellés Azcona (1775-1835), quien incorporará con determinación el texto y las enseñanzas de Durand al eje vertebral de su sistema docente²⁶. Menos intensos serían los núcleos de Sevilla, Zaragoza y Valladolid, donde, no obstante, se siguieron impartiendo enseñanzas de dibujo en cierta conexión con la central de San Fernando, asociadas a diversas capacitaciones como las de maestro de obra, director de caminos vecinales o agrimensor, cuyas titulaciones y atribuciones irían variando a lo largo del siglo en relación con los sucesivos decretos de regulación de competencias.

También merecen atención los diversos lugares de enseñanza del dibujo que permanecieron ligados a la ingeniería militar, terrestre y naval en localizaciones como Alcalá de Henares, Ávila, Segovia o Guadalajara²⁷, en las secciones de tierra, o Cartagena, Ferrol y Cádiz, históricamente ligadas al saber naval. En ellas se continuaba impartiendo un conocimiento gráfico adecuado a sus diversas finalidades, y al igual que en el ámbito de los ingenieros de caminos primaba cierta atención y preocupación por los avances científicos del conocimiento.

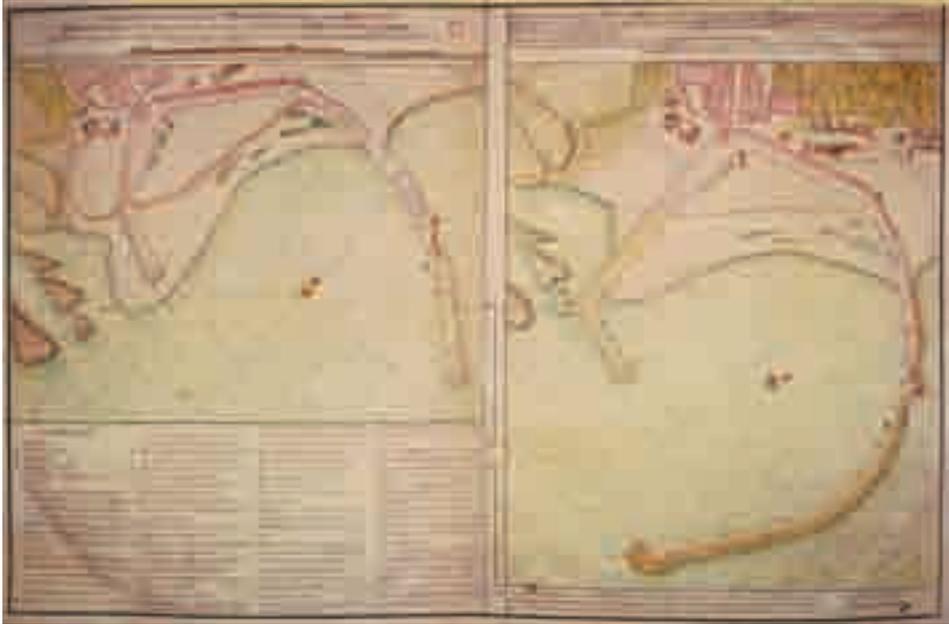
Es así como en la primera mitad del siglo XIX se fue extendiendo y afianzando la progresiva convicción en la capacidad educativa del dibujo y sus diversas aplicaciones a muy distintas finalidades. Uno de los ámbitos estructurados por estas directrices fue el Real Conservatorio de Artes, fundado en Madrid en 1824. Respecto a los aspectos específicos que aquí interesan, habría que destacar la importante aportación al saber gráfico centrada en la traducción y la edición de la obra de Dupin²⁸. En relación con las diversas facetas del centro, esta obra supone cierta síntesis del saber gráfico, en el que el dibujo y la mecánica se aúnan, planteando sus diversas aplicaciones con un sesgo preferentemente industrial. En este sentido, y en lo que nos concierne, tam-

²⁵ J. BERCHEZ y V. CORELL, 1981.

²⁶ ARRECHEA, 1989, pp. 36-40, y NAVASCUÉS, 1993.

²⁷ GARCÍA BODEGA, 2006.

²⁸ *Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes*, traducida por Juan López Peñalver e impresa en Madrid por J. del Collado en dos volúmenes (1830 y 1835).



3.5. El Puerto del Grao de Valencia, en dos momentos del siglo XIX: El elenco de dibujos relativo a los puertos españoles en este siglo supone un intenso volumen de información que sería interesante conocer y procesar en su conjunto. El primer dibujo ilustra un proyecto de principios de la centuria (1802), debido a Manuel de Mirallas, en el que se refleja su estado inicial y el que resultaría tras la ampliación prevista. El segundo documento ilustra la propuesta de Alejandro Cerdá (1878) para el mismo puerto. Ante la contemplación simultánea de ambos documentos resulta interesante observar tanto las transformaciones del puerto y su núcleo urbano como el progreso gráfico en la representación específica del tema del encuentro funcional entre la tierra y el mar.

bién se establecería en su seno la división de pesos y medidas, promotora del sistema métrico decimal, de tan dilatada y difícil implantación en España.

Para hacernos cargo de las distintas dimensiones del saber gráfico en estos años, tampoco habría que olvidar los conocimientos de dibujo ligados a la explotación minera. Independientemente de sus específicos registros constructivos, es interesante resaltar la necesaria capacitación de estos técnicos en lo que, con cierto atractivo poético, era conocido como *geometría subterránea*; unos conocimientos en relación con el levantamiento y el control geométrico del replanteo que implicarían la necesidad de un preciso control de ángulos y distancias, imprescindible para abordar con ciertas garantías las estrategias de perforación en el interior de la tierra. De alguna manera, este tipo de saber tendría una tradición y un origen comunes con ciertas facetas militares ligadas a las técnicas de asalto de fortificaciones. Para finalizar este apartado sobre las aportaciones al dibujo en esta época desde una doble perspectiva ceñida a los avances desde otros campos temáticos y países, convendría resaltar el conjunto de novedades sobre el desarrollo y la aplicación de la proyección isométrica²⁹, que van a suponer los precedentes básicos para la progresiva incorporación de este sistema, entre otras cosas, a la ilustración del apartado de las construcciones.

II.3. El desarrollo específico del levantamiento: el territorio, la ciudad y el patrimonio edificado

En los primeros quince años del siglo las campañas napoleónicas significaron un considerable avance de las técnicas cartográficas y de dibujo en sus diversas facetas. Ya en 1802 se establecieron nuevas normas para la cartografía, incorporando entre otras cuestiones la decidida utilización del sistema métrico decimal en la determinación de las escalas y la representación del relieve mediante curvas de nivel. Lo triste del caso en relación con España es que estas mismas campañas y los hechos políticos consecuentes significaron por el contrario un freno al desarrollo y la actualización incipientes. A pesar de este considerable retraso, la precaria cartografía nacional tendría una nueva ocasión de actualizar sus técnicas y sus productos a partir de 1823, cuando la división cartográfica de las tropas francesas, en colaboración con algunas españolas, continuó en su retorno al país trabajos de cartografía militar iniciados en las campañas anteriores³⁰. Hasta la primera mitad del siglo, los trabajos de levantamiento y representación del territorio se irían adscribiendo progresivamente a los ingenieros militares y a los civiles, mientras que la representación de la ciudad conti-

²⁹ Destacan en este sentido las obras *On isometrical perspective* (1822), del matemático William Farish (1759-1834), *The practice of isometrical perspective* (1833), de Joseph Jopling, y *A treatise on isometrical drawing* (1834), de Peter Sopwith.

³⁰ Sobre la cartografía francesa en España véase el catálogo de la exposición *Guerra y territorio: Madrid 1808* (comisario, F. Quirós), Ayuntamiento de Madrid, 2008.

nuó siendo durante cierto tiempo un ámbito de atribuciones algo más compartido entre arquitectos e ingenieros³¹.

Para ilustrar parcialmente este proceso podemos acudir al caso de Madrid. Tras el plano de 1769 —cuya autoría conjetural adjudicamos al arquitecto-ingeniero Hermosilla—³², en 1815 ya se intentó levantar un nuevo plano de la ciudad con la clara vocación de que sirviera para la doble misión de reflejar con precisión el estado actual de la ciudad y, a partir del mismo, articular un incipiente proyecto de ordenación. El encargo de esta misión recayó en el arquitecto mayor de la villa Antonio López Agüedo (1764-1831), y no trascendió más allá de los tanteos iniciales. El segundo empeño se produjo en 1835, y la nueva misión se le encargó al también arquitecto Custodio Teodoro Moreno (1780-1854); más que de realizar un nuevo plano se trataba de corregir y actualizar el de 1769, estableciendo al mismo tiempo una base para prefigurar las futuras operaciones de transformación urbana. Tras estos tanteos preliminares es sintomático el proceso de gestación del primer plano operativo de la ciudad de Madrid. Cuando el Ayuntamiento de 1840, con el impulso de Fermín Caballero Morgay (1800-1876), decide abordar esta empresa con una notable escasez de medios, acude a la Escuela de Caminos para aprovechar las prácticas de los alumnos de segundo curso. A raíz de estos precarios comienzos se inicia un dilatado proceso de siete años de duración en el que un plano que se pretendía casi sin coste económico derivaría hacia una inversión de más de 260.000 reales, llevada finalmente a cabo por los ingenieros Juan de Ribera Piferrer (c. 1809-1880) y Juan Merlo Fransoy (1806-d. 1894) y el arquitecto-ingeniero Fernando Gutiérrez (1806-1859).

Este caso particular es un ejemplo de una tendencia de los tiempos, en la que los arquitectos van a ir siendo relegados de ciertas misiones, en principio gráficas, que serán ocupadas por la emergente figura del ingeniero civil. En este sentido, y en relación con los conflictos de atribuciones, algunos de estos mismos ingenieros implicados en la formación del plano asumieron encargos que oscilaron entre proyectos de ordenación urbana como el de la plaza de Oriente y trabajos con importante presencia de la cartografía territorial y de nivelación, como ocurrió con los estudios previos sobre el suministro de agua a Madrid en 1848, realizado por Juan de Ribera y Juan Rafo (c. 1809-1850), a quien se debe el primer plano de Madrid con curvas de nivel³³.

Resultaría así de cierto interés realizar un panorama nacional sobre la representación urbana en esta primera mitad del siglo, pues podría comprobarse hasta qué punto esta doble concurrencia de arquitectos e ingenieros se fue especializando, sin olvi-

³¹ Conviene recordar aquí algunos proyectos de escala urbana realizados por arquitectos, como los de Silvestre Pérez para el Puerto de la Paz en Bilbao en 1807 o el plan de reconstrucción de Ugartemendía para San Sebastián de 1814-1817.

³² J. ORTEGA VIDAL, 2000.

³³ *Antecedentes del canal de Isabel II: viajes de agua y proyectos de canales*, Madrid, Canal de Isabel II, 1986.

dar en esta comprobación la presencia constante de los ingenieros militares, antes de especializarse algunos de ellos en las nuevas estructuras operativas de la geografía³⁴.

Volviendo al caso de Madrid, y en lo que a la representación urbana de esta primera mitad del siglo respecta, no podemos olvidar el singular episodio del modelo o maqueta de la ciudad realizado por el coronel de artillería barcelonés León Gil del Palacio (1788-1849) entre los meses de noviembre de 1828 y 1830³⁵. Contando con el precedente de la maqueta de Cádiz, realizada en 1777-1779 por el coronel de ingenieros Alfonso Jiménez bajo la dirección de Sabatini³⁶, la de Madrid va a significar un hecho puntual producto de la iniciativa del autor, pues había realizado previamente otra de Valladolid. A pesar de que esta maqueta supondría el detonante de un gran proyecto de documentación para realizar las de todas las ciudades de España y sus posesiones de ultramar, enmarcado en el Gabinete Topográfico (1833) que se asentaría en el Salón de Reinos del palacio del Buen Retiro, este arrastraría una lánguida existencia y realizaría tan solo algunas maquetas de los Sitios Reales y la de la ciudad de Melilla hacia 1847, poco antes de la muerte de su director.

En estas décadas de la primera mitad del siglo y en relación con el levantamiento arquitectónico, nos quedaría plantear cuáles pudieron ser el desarrollo y las iniciativas incipientes sobre la documentación gráfica sobre el patrimonio edificado, que tan notable incremento tendría en la segunda mitad del siglo. En este aspecto del dibujo podemos recordar las iniciativas institucionales de la segunda mitad de la centuria anterior, ceñidas fundamentalmente a El Escorial y las Antigüedades Árabes³⁷. Junto a estas referencias, al igual que ocurría con los planos de ciudades, sería de gran interés propiciar una recopilación sistemática de los diversos dibujos de levantamiento de edificios históricos producidos desde el ámbito disciplinar antes de la especialización gráfica sobre la documentación del patrimonio, en gran medida asociada a la creación de las diversas comisiones de monumentos iniciadas a partir de 1844³⁸.

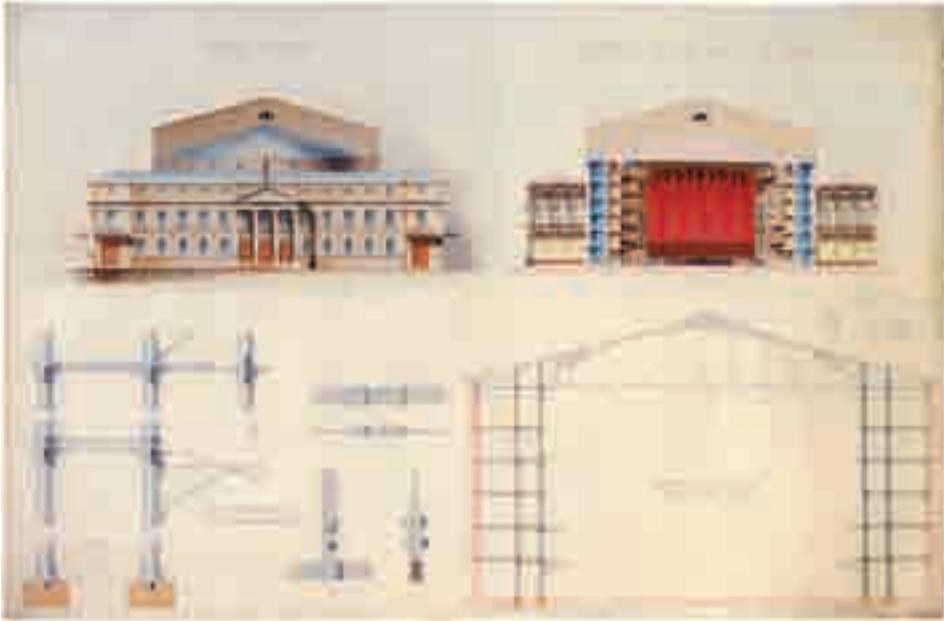
³⁴ Tendríamos así un elenco de dibujos urbanos en gran medida realizados por los ingenieros militares; es de suponer que muchos de esos documentos serían posteriormente utilizados por Francisco Coello para la formación de su atlas.

³⁵ J. ORTEGA VIDAL y J. F. MARÍN PERELLÓN, 2005.

³⁶ J. L. SANCHO GASPAS: «La colección de relieves de las fortificaciones del Reino y el “modelo” de la ciudad de Cádiz», en *Francisco Sabatini*, Madrid, Electa, 1993, pp. 510-511.

³⁷ F. MARÍAS FRANCO: «El Escorial entre dos Academias: juicios y dibujos», *Reales Sitios*, 149 (2001), pp. 2-19; D. RODRÍGUEZ RUIZ: *La memoria frágil: José de Hermosilla y las Antigüedades Árabes de España*, Madrid, Fundación Cultural COAM, 1992.

³⁸ Un importante elenco de dibujos tanto de levantamientos como de proyectos se puede consultar en el «Inventario de los dibujos de arquitectura de los siglos XVIII y XIX en el Museo de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando», publicado por C. HERAS y S. ARBAIZA en cinco entregas de la revista *Academia*: I, n.º 91 (2000), pp. 79-237; II, n.ºs 92-93 (2001), pp. 103-271; III, n.ºs 94-95 (2002), pp. 103-254; IV, n.ºs 96-97 (2003), pp. 141-279, y V, n.ºs 98-99 (2004), pp. 121-271.



3.6. Proyecto de Teatro para la Corte, Juan José Fornés y Rabanals 1850: Como testimonio de la prueba de pensado para la obtención del título de arquitecto perteneciente al plan antiguo, anterior a la Escuela Especial de Arquitectura creada en 1845, se reproduce aquí uno de los cuatro planos presentados por el aspirante natural de Valencia, que obtendría el aprobado en la Junta General del 15 de febrero de 1850. Tiene interés observar que, junto al alzado y sección del edificio, es objeto de atención específica a mayor escala la estructura metálica; esta aparece definida tanto en su conformación general como en los detalles constructivos correspondientes a los nudos con sus elementos de enlace. Ante la visión de este tipo de documentos, conservados en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando en Madrid hasta 1857, hay que lamentar la pérdida de los archivos de la Escuela de Arquitectura de Madrid durante la Guerra Civil, pues resulta difícil observar la evolución de las soluciones constructivas en el ámbito arquitectónico en la segunda mitad del siglo XIX.

Desde la perspectiva europea y en parte española, el levantamiento de edificios tendría un constante desarrollo con los trabajos de estudio y documentación ligados a los pensionados, iniciados con cierta intensidad, sobre todo en Roma, desde el siglo anterior. En este sentido, también significó un importante impacto la convulsión napoleónica, que, combinada con la atonía fernandina, hizo desaparecer la figura del arquitecto pensionado en nuestro país hasta que se volviera a activar con la nueva Escuela de Arquitectura. No obstante, desde el punto de vista editorial, estas dinámicas propiciaron la aparición de nuevas publicaciones eminentemente gráficas sobre la arquitectura, como las de Percier y Fontaine o la monumental obra sobre la *Descripción de Egipto*, las cuales abrirían nuevos caminos temáticos y de estilo gráfico que servirían como precedente a obras tan importantes para la historiografía de la arquitectura como las de Luigi Canina o Paul Marie Letarouilly.

Mientras que este tipo de obras, en las que predomina un enfoque estrictamente disciplinar del dibujo, tardaría en consolidarse en España, hay que señalar en este punto otro tipo de aportaciones gráficas que conocerían un notable desarrollo en esta primera mitad de siglo. Nos referimos a las aproximaciones que podríamos adjetivar como románticas; en ellas se va a gestar una nueva manera de contemplar la historia, asociada a un tipo de dibujo más basado en el apunte perspectivo y de ambiente, ligado a cierta ensoñación literaria³⁹. Todo este conjunto de imágenes, con mayor protagonismo de la línea en las aproximaciones disciplinares y con la necesaria contribución de los tratamientos superficiales de textura y claroscuro en las segundas, tendrían que ser contemplados además en relación con los progresos sobre los métodos de realización del dibujo y con los avances en los procesos de reproducción ligados a la edición de publicaciones.

II.4. *Aspectos instrumentales sobre la producción y edición del dibujo*

Durante esta primera mitad del siglo XIX se va a producir un conjunto de circunstancias que significarán la base para una serie de avances en el dibujo y las artes gráficas, que se consolidarán definitivamente a lo largo de la centuria. Estos progresos tendrán dos facetas complementarias: una de ellas será la que actualice y mejore los recursos en cierta medida tradicionales, mientras que la otra estará en relación con procedimientos novedosos en la historia del dibujo, como ocurrirá con la paulatina incorporación de la fotografía y los métodos de documentación de ella derivados.

Empezando por el principio, tanto del siglo como del dibujo, un aspecto de cierta importancia se va a centrar en la evolución en la industria del papel. Es en los primeros años de la centuria cuando la fabricación del mismo supera los límites tradicionales asociados a los formatos clásicos y se consiguen tamaños de papel continuo hasta entonces nunca alcanzados⁴⁰. En coincidencia con este aspecto cuantitativo, aparecerán también adelantos cualitativos al diversificarse progresivamente los soportes del dibujo, lo que significará cambios en las técnicas de ejecución y reproducción, basadas estas últimas hasta el momento en el estarcido o el calco directo⁴¹. El progresivo desarrollo administrativo de los expedientes de proyecto, con la conse-

³⁹ Á. ISAC, 1987, y J. ARRECHEA MIGUEL, 1989.

⁴⁰ El inicio del uso de rodillos se suele establecer en 1799, en relación con L. Robert. Las marcas de papel habituales eran las extranjeras, entre las que destacaban las casas Whatman's y Cottam's. Las denominaciones y los formatos habituales, expresados en pulgadas (1 pulgada = 2,49 cm), eran los siguientes: Emperor, 68 x 48; Antiquarian, 53 x 31; Double Elephant, 40 x 27; Atlas, 34 x 26; Columbia, 35 x 23,5; Elephant, 28 x 23; Imperial, 30 x 22; Royal, 24 x 19,25; Medium, 22,75 x 17, y Demy, 20 x 15,25.

⁴¹ Consistía el primero en la perforación del papel con agujas para trasladar los puntos significativos, mientras que el segundo se basaba en el uso de cristales a contraluz para permitir cierta transparencia en los papeles, que normalmente eran de bastante cuerpo. También existían las cuadrículas y los pantógrafos.

cuenta necesidad de un número creciente de ejemplares, significaría a lo largo del siglo la necesidad de agilizar la realización de copias, lo que se conseguirá a través de ingenios mecánicos de transferencia o mediante la disponibilidad de papeles con mayor grado de transparencia⁴².

Al igual que ocurrió con la evolución de la cartografía, y en relación parcial con ella, la convulsión napoleónica significó un notable impulso de los centros de fabricación de instrumentos de medición y dibujo del continente europeo, que competirían progresivamente con los establecidos en las Islas Británicas. Muchas de las marcas clásicas de instrumentos de dibujo, aún en pleno funcionamiento a finales del siglo xx, deben su nombre a los apellidos de los fabricantes que iniciaron su producción durante los primeros decenios del siglo; entroncando con las tradiciones desarrolladas en torno a Suiza, Austria y partes de lo que luego sería Alemania, la elaboración de instrumentos básicos de trazado como lápices, tiralíneas y compases experimentarán un desarrollo en la versatilidad y la precisión que hasta entonces no había sido alcanzado⁴³.

En este período se va a desarrollar el conjunto de ayudas instrumentales de apoyo al trazado; los sistemas clásicos para dibujar horizontales y verticales van a conocer una diversificación en ingenios que se extenderán igualmente al trazado de curvas más o menos complejas. En este sentido, valga el ejemplo de la evolución del elipsógrafo para perfeccionar los modelos ya existentes, en relación con los avances y la extensión de las aplicaciones de la perspectiva isométrica a través de las publicaciones antes reseñadas.

Pero tal vez el apartado más intenso y atractivo en esta primera mitad del siglo lo constituya el conjunto de desarrollos de los instrumentos que asocian la visión humana, el *ver*, a las potencialidades del *medir* y *dibujar* la realidad circundante. Aunque, en general, los principios y las aplicaciones a través de diversos ingenios eran ya conocidos, se produce en primer lugar una serie de perfeccionamientos en la estructuración y la fabricación de los componentes, como es el caso de la cámara lúcida patentada por W. H. Wolaston en 1806 o del «telescopio gráfico» de Cornelius Varley, patentado en 1811. Estos aparatos, en unión con otros ya existentes, como los diversos «siluetógrafos», significaron a su vez una relación de causa-efecto con el desarrollo y la potenciación del dibujo lineal de contorno y silueta, que derivaría hacia la creación de un auténtico estilo.

Igualmente interesante sería la evolución paralela de la cámara oscura hacia la fotografía. Aunque el hecho de capturar la luz externa a través de un orificio en un compartimento aislado de la misma era sobradamente conocido desde la Antigüedad

⁴² Desde los tratamientos con aceites hasta los papeles tela, que ya aparecen en proyectos hacia mediados de siglo, pasando por los papeles de croquis y los vegetales, este aspecto de la transparencia resulta de cierto interés.

⁴³ Tales serían los casos de Jacob Kern en Aarau (1819), Thomas Haff e hijos, que fundarán Gebrüder Haff en 1835, o Clemens Riefler en Nesselwang, Baviera (1841).

y se utilizaba como ayuda y apoyo al dibujo al menos desde el siglo xvii, la gran novedad de la fotografía consistirá en la transferencia directa de la imagen sobre el papel a través de una reacción química. Estas experiencias van a suponer un avance de la aproximación científica de la representación, basada en el concepto de objetividad, cuyas aplicaciones e implicaciones aún estamos desarrollando⁴⁴. Otro desarrollo de gran interés y espectacularidad se centrará en torno al fenómeno de la estereoscopia. Con las referencias básicas de Brewster y Wollaston en relación con la visión binocular y los ingenios que procuran una ilusión tridimensional a partir de dos imágenes planas producidas con ciertas condiciones, se inicia una doble faceta gráfica de gran atractivo. La primera, de una aproximación lúdica y festiva, supondrá una extensión de lo gráfico a un público muy amplio. La segunda, en relación con el paralelo desarrollo de la fotografía, producirá en las últimas décadas del siglo una auténtica derivación científica de la representación que se conocerá finalmente como *fotogrametría estereoscópica*, sobre la que luego volveremos.

Relacionado en parte con este aspecto podríamos reseñar finalmente el apartado de las técnicas de reproducción editorial, que van a experimentar un intenso desarrollo a lo largo del siglo. Aunque la gran eclosión en este sentido se producirá en la segunda mitad del mismo, hay que señalar aquí el incipiente desarrollo de las revistas ilustradas, que van a constituir un fenómeno realmente singular, unido a los consecuentes avances de los sistemas de transferencia y reproducción de imágenes, como es el caso de la litografía, que permitirá la progresiva incorporación del color tanto en obras gráficas de carácter general como en las relativas al mundo de la construcción.

Frente a los avances europeos en las tecnologías del dibujo, el panorama español en esta primera mitad del siglo resulta en general un tanto desolador. La incipiente producción antes reseñada conoció un claro estancamiento que tan solo sería ligeramente superado en las últimas décadas de la centuria⁴⁵.

III

EL DIBUJO EN LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XIX

La diversificación o escisión del dibujo entre la arquitectura y las obras públicas va a ser un hecho consumado al final de las décadas del Ochocientos. En este final del recorrido van a confluir tanto las facetas docentes como la casi definitiva especializa-

⁴⁴ Sobre el desarrollo de la fotografía en España, G. F. KURTZ, 2001.

⁴⁵ Resulta sorprendente la penuria de medios disponibles en las operaciones de levantamiento del plano de Madrid, donde los ingenieros tienen que pedir prestado un teodolito para iniciar sus operaciones. Habría que suponer que estos instrumentos eran de fabricación extranjera. Sobre la producción nacional las referencias son mínimas; el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología conserva un grafómetro de hacia 1820 fabricado en Cartagena por Vicente Comas que era propiedad del arquitecto Pedro Serra Bosch.

ción de los cometidos de arquitectos e ingenieros. Desde una visión un tanto cruda y simplificadora, tal y como hoy ocurre, el dibujo se mantendrá como una seña de identidad de los arquitectos y quedará como un conocimiento un tanto marginal o puramente instrumental para los ingenieros.

En una observación algo más matizada, esta escisión podría estructurarse a su vez en varias etapas, jalonadas por los fallidos intentos de las escuelas preparatorias de 1848-1854 y 1886-1892, y entreveradas al mismo tiempo por los contenidos específicos de dibujo en cada carrera y los sucesivos decretos reguladores de las atribuciones. En esta lucha de competencias, aunque en grado menor, también habría que tener en cuenta las disposiciones sobre los títulos de maestro de obras, aparejador, sobrestante y director de caminos vecinales, que implicaban asimismo cierto conocimiento gráfico en relación con determinadas atribuciones para intervenir en la construcción del marco físico.

III.1. *Evolución de las instituciones: el dibujo, entre la formación, las atribuciones y las publicaciones*

Tras las incipientes etapas de la formación gráfica en las escuelas de Caminos y Arquitectura que iniciamos en el apartado anterior, observaremos a continuación los cambios operados tanto en el ámbito de las mismas como en su correlato de atribuciones profesionales. En este último aspecto habría que destacar ahora la importancia del Real Decreto de 10 de octubre de 1845, coincidente en el tiempo con la apertura del primer curso de la nueva Escuela de Arquitectura, por el que se regulaba la promoción y la ejecución de las obras públicas, potenciando la figura del ingeniero y relegando la del arquitecto.

Desde esta visión combinada de formación y atribuciones entre ingenieros y arquitectos, el ensayo de la primera Escuela Preparatoria (1848-1856) supone una referencia de gran interés en el conjunto de acontecimientos en torno a mediados de siglo. Este ensayo de preparación común de dos años para arquitectos, ingenieros de caminos y de minas combinó una vocación politécnica de racionalidad en la base de las enseñanzas con una estrategia económica de reducción de costes de la docencia. En este precario equilibrio se manifestaron las contradicciones entre la arquitectura y la ingeniería, lo que dio al traste con un ensayo de ocho años de duración. Tras su fracaso, las consecuencias de la gran reforma educativa de Claudio Moyano, iniciada en 1857, van a significar la independencia de la Escuela de Arquitectura; a pesar de que la Academia seguía otorgando y registrando los títulos, la Escuela gozaba ya de autonomía en sus planteamientos docentes.

Otro aspecto importante del marco institucional en estos años se centra en la adscripción ministerial de las estructuras docentes⁴⁶. En relación con estos cambios de

⁴⁶ En este sentido habría que destacar la creación del Ministerio de Fomento (R. D. 20-X-1851), del cual dependerían las escuelas, y la de la Dirección General de Instrucción Pública, que tuvo lugar en 1857. Hay que mencionar también la reorganización de la Junta Consultiva de Caminos, ya que

mediados de siglo también conviene atender tangencialmente a la formación y las atribuciones de profesiones colaterales en el ámbito de la construcción, como la de maestro de obras, que, en unión con las academias y escuelas de dibujo provinciales, serían objeto de reforma por Real Decreto de 31 de octubre de 1849⁴⁷.

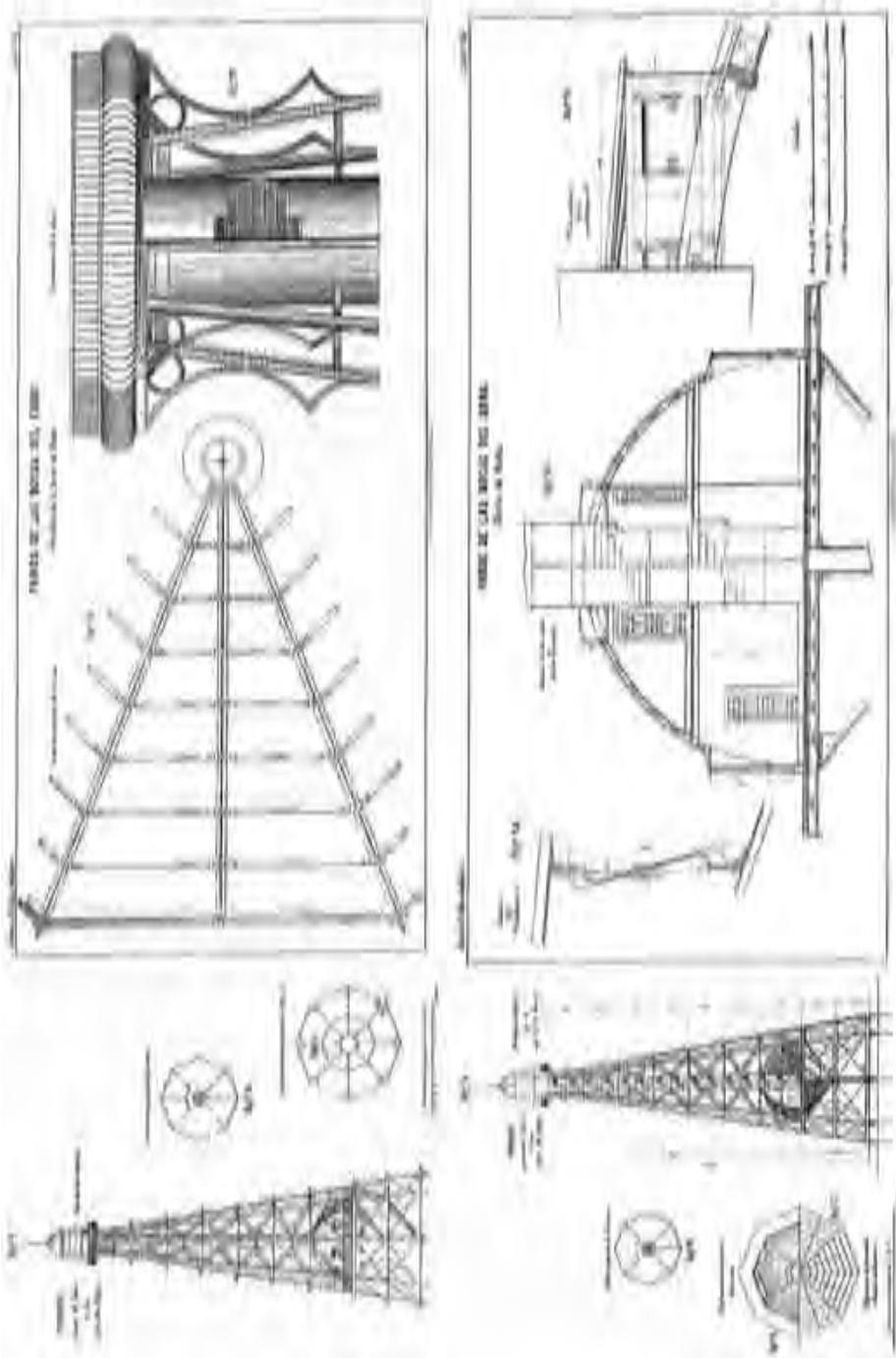
A pesar de todos estos cambios en el marco institucional, podríamos observar la relativa inercia de la enseñanza y el aprendizaje del dibujo en los diversos centros. Salvando pequeñas diferencias, casi siempre se produce una estructura básica parecida, en la que la geometría descriptiva y la topografía aparecen en la base de todas estas formaciones. Las diferencias se establecerían en los distintos énfasis y grados de dificultad de cada una de ellas. Este principio básico es el que parece subyacer en la intención de la Escuela Preparatoria, aunque, según parece, sus ambiciones de equilibrio no resultaron satisfactorias para todos; desde el punto de vista gráfico se entendía así una formación propedéutica en la que a la Geometría Descriptiva y la Topografía se añadían asignaturas de Lavado aplicado a los órdenes con algunas notas sobre Geodesia y Dibujo de Paisaje. Tal vez resultara algo excesivo este énfasis gráfico para los ingenieros, del mismo modo que la queja por parte de la arquitectura se establecía desde la intensidad exigida en las asignaturas científicas en detrimento de las artísticas.

A partir de 1857 las escuelas de Arquitectura y Caminos asumieron en su integridad la formación gráfica de sus estudiantes y ambas quedaron con plena libertad para adecuarla a sus fines específicos. En términos generales, los principios básicos continuaron descansando en la Geometría y la Topografía, y la formación arquitectónica se amplió con materias alusivas específicamente al dibujo (Copia del Yeso, Detalles, Conjuntos, etc.), mientras que en los estudios de Caminos el dibujo se enfocaba en todos los cursos como trabajos de aplicación de las diversas asignaturas hasta los años de la Restauración monárquica.

En todo este proceso habría que observar que los profesores a cargo de la enseñanza gráfica fueron perdiendo el perfil especializado, tal vez en relación con el menor prestigio de estas enseñanzas. En la Escuela de Arquitectura, con la excepción de la constante dedicación de Juan Bautista Peyronnet a la enseñanza de la Geometría Descriptiva y a la Estereotomía, la enseñanza del dibujo fue descansando progresivamente en la nueva figura del ayudante de clases artísticas (Mendívil, Aguilar, Coello...),

el negociado de Caminos Vecinales se incorporó al Ministerio de Fomento. Esta nueva junta superpondrá parte de sus atribuciones sobre las ciudades con las de la nueva Junta Consultiva de Policía Urbana (4-VIII-1852), dependiente del Ministerio de Gobernación; siete años después la nueva junta añadiría a sus atribuciones el apartado de «edificios públicos» (17-VIII-1859), hasta que finalmente fue suprimida por Real Decreto de 22 de marzo de 1865.

⁴⁷ El ministro de Comercio, Instrucción y Obras Públicas Manuel Seijas Lozano plantea un enfoque económico y productivo de estos centros en el que se distinguen academias de primera clase, como las de Barcelona, Valencia, Valladolid y Sevilla, y de segunda, como las de Bilbao, Cádiz, La Coruña, Granada, Málaga, Oviedo, Palma de Mallorca, Santa Cruz de Tenerife y Zaragoza. Existirían además las escuelas de dibujo, pero tan solo habría sección de arquitectura en las de primera clase.



3.7. Faro de Buda en Tarragona, planos del proyecto por Lucio del Valle, 1861: Como ejemplo significativo de las nuevas posibilidades que brinda la construcción metálica se ofrecen aquí algunos de los dibujos del proyecto del faro de 51,5 metros de altura, publicados en la Revista de Obras Públicas. Desde el punto de vista del dibujo se evidencia que las nuevas exigencias en la definición del proyecto hacen imprescindible el intenso desarrollo del detalle constructivo. En un sentido complementario, habría que resaltar el carácter novedoso y en gran medida aventurero de abordar la construcción realizada entre los años 1860 y 1864 con una tecnología escasamente conocida, piezas importadas de la fábrica de John Henderson Porter en Birmingham y una puesta en obra en muy difíciles condiciones. Dañado y reparado en la Guerra Civil, el faro desapareció definitivamente el 24 de diciembre de 1961.

que se ocupaba preferentemente de los cursos inferiores de la carrera y de cubrir las ausencias de los catedráticos de las asignaturas de los cursos superiores, como Análisis de Edificios, Historia y Composición, ocupadas durante décadas por Álvarez-Bouquel, Jareño y Gándara, materias en las que, no obstante, el dibujo formaba parte esencial de las enseñanzas. Algo parecido ocurría en la Escuela de Caminos, en la que la formación gráfica en unión con la asignatura de Arquitectura tendía a ser ocupada por figuras de doble perfil ingeniero-arquitecto (Valle, Saavedra, Carderera, etc.).

Tras las convulsiones del período 1868-1875, con sus consecuentes cambios de planes oscilantes entre la libertad, el desorden y la restauración, estas tendencias de especialización de las enseñanzas gráficas arquitectónicas y las de un enfoque algo más difuso y de aplicación en el ámbito de la ingeniería se fueron afianzando progresivamente, hasta el nuevo intento, también fallido, de la segunda Escuela Preparatoria (1886-1892). De esta manera, en la Escuela de Arquitectura el número de profesores interinos y ayudantes fue aumentando, de modo que se consolidaron y al mismo tiempo se crearon cátedras específicas de dibujo, como la mezcla de Estereotomía, Perspectiva y Sombras (Urquiza, Fernández Casanova), la de Topografía (Aguilar, Pagasartundúa, Ruiz de Salces, Repullés) o las de nueva creación, como las de Copia del Yeso y Modelado en Barro, en intensa relación con las características personales de Arturo Mélida Alinari (1849-1902)⁴⁸. Conviene recordar en este punto la definitiva consolidación de la Escuela de Arquitectura de Barcelona, que, desde 1875 y a salvo de las tensiones surgidas con la aplicación de la segunda Escuela Preparatoria, gozaría de su anhelada autonomía⁴⁹.

Estas visiones del dibujo desde los planteamientos docentes deberían ser complementadas con el doble correlato gráfico de las publicaciones o textos de apoyo y con los ejercicios realizados en el ámbito académico. En lo que al segundo aspecto concierne hay que lamentar la pérdida casi total de los archivos de la Escuela de Arquitectura, hecho que no permite la comprobación afinada de los aspectos aquí tratados⁵⁰. Este corpus académico sí parece existir en los archivos de la Escuela de Caminos, y merecería ser objeto de una atención específica. Tampoco se conservan grandes referencias en el apartado de los textos docentes realizados por los profesores, cuyas enseñanzas descansaban en gran medida en lo que hoy llamamos *clases presenciales*⁵¹. Este sistema se apoyaba en ediciones extranjeras, pues existían pocas obras naciona-

⁴⁸ P. NAVASCUÉS PALACIO: «Arturo Mélida Alinari, 1849-1902», *Goya*, 102 (1972), pp. 243-241.

⁴⁹ *Exposició commemorativa del centenari de l'Escola d'Arquitectura de Barcelona, 1875-1975* (1975).

⁵⁰ Esta comprobación tan solo se puede realizar en parte a través de los ejercicios conservados en la Academia de San Fernando para la obtención del título.

⁵¹ En este sentido, tiene interés el texto de 1852 conservado en el archivo de la RABASF con la referencia 5-69-5: *Principios y leyes de perspectiva aérea aplicables al dibujo arquitectónico y topográfico, tanto al claro oscuro como al colorido, y de la elección y composición de las tintas en este último caso*. Está firmado por Aníbal Álvarez, Juan de Madrazo y Antonio Conde.

les específicas sobre dibujo, más allá de las genéricas sobre geometría y topografía. Al igual que ocurría con el desarrollo de la carrera, habría que destacar un conjunto de publicaciones más generales, normalmente escoradas hacia los tratados de construcción, obras en las que el dibujo se erigía en uno de sus principales sustentos narrativos. En este sentido, además de la relativa vigencia de los libros de Rondelet y Durand, habría que destacar la nueva referencia de la segunda mitad siglo en la obra del profesor de la Escuela Politécnica de París Leonce Reynaud (1803-1880) editada entre 1850 y 1858.

En lo que respecta a las publicaciones nacionales⁵² y además de las mencionadas anteriormente, podríamos destacar aquí la traducción del tratado de construcción de John Millington (editado en Filadelfia en 1839), realizada por el mariscal de campo Carrillo de Albornoz en 1848, las obras de Celestino Espinosa (1859), Nicolás Valdés (1859), José de Manjarrés (1874), José Antonio Rebolledo (1875) y Bernardo Portuondo (1877). La autoría de estas obras correspondió a ingenieros militares y de caminos, mientras que las publicaciones de los arquitectos se ciñen a las de Matías Laviña (1850, 1858)⁵³, teniendo que esperar a los últimos años del siglo para ver publicadas las atractivas aportaciones sobre la estereotomía del arquitecto catalán y profesor de la Escuela de Barcelona Antoni Rovira y Rabasa (1898, 1899 y 1900).

III.2. *El nuevo marco del urbanismo*

La segunda mitad del siglo XIX va a suponer un intenso desarrollo del dibujo de levantamiento, entendido este en su más amplio registro, esto es, la aplicación del mismo a la traducción y el reflejo de la realidad existente para operar con ella atendiendo a distintas finalidades. En términos gráficos, esta tónica general se diversificaría en función del concepto de la escala, y en función de ella se jalonarían las distintas aplicaciones temáticas. Podríamos distinguir así los enfoques ligados a las grandes escalas de la cartografía y el territorio, los propios de la ciudad y los conjuntos urbanos o los encuadres más cercanos ligados a las construcciones concretas hasta llegar a los detalles constructivos de las mismas. Todos ellos en su conjunto evidenciarían la necesidad sentida de operar mediante el dibujo para conocer y diagnosticar las distintas facetas de lo existente, y ese mismo soporte o entramado gráfico serviría para operar, acto seguido, con los distintos proyectos, cuya finalidad estribaría en modificar esa realidad de partida.

Esta relación entre levantamiento y proyecto conocerá a su vez distintas intensidades en función de estos enfoques o escalas temáticas. Aparecería así una relación más débil en el apartado de la cartografía, que llegaría a su máxima intensidad en las aplicaciones relacionadas con la intervención en el patrimonio existente. Pero intere-

⁵² Conviene destacar aquí la importante labor del profesor de la ETSAM Santiago Huerta en relación con la Sociedad Española de Historia de la Construcción; todos los textos mencionados a continuación están disponibles en la Red en la sección «Fuentes para la historia de la construcción».

⁵³ J. GARCÍA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO, 2010.

**Madrid
1872-1874**



3.8. Planos de Madrid y Zaragoza del último cuarto del siglo XIX: Este período supone un momento de esplendor nacional en la producción de planimetrías urbanas. No obstante, su situación intermedia entre la cartografía y la arquitectura ha significado una escasa valoración general que merece ser resaltada. Esta labor es en gran medida producto de una serie de esfuerzos colectivos, entre los que habría que recordar el empuje inicial de Francisco Coello y su ambicioso proyecto geográfico-catastral, rápidamente derivado a las producciones del Instituto Geográfico y Estadístico dirigido por Carlos Ibáñez de Ibero. El plano de Madrid de 1872-1874 es el paso a limpio de las labores previas iniciadas por la Junta de Estadística a la escala de 1:500, reducida a la de 1:2.000 mediante el cuidado grabado de Reimoso. El plano de Zaragoza de 1880, dirigido por el ingeniero geógrafo Dionisio Casañal Zapatero (n. 1846), es un sorprendente documento realizado en 249 hojas a escala 1:250, en el que se representan con gran calidad de detalle los edificios más importantes de la ciudad; en la hoja aquí reproducida aparece un fragmento de la basílica del Pilar con la capilla.

sa ahora destacar ese enfoque o encuadre intermedio entre ambos, que va a suponer un intenso campo de aplicación del dibujo y el proyecto, acotando un ámbito de conflicto de intereses y atribuciones entre arquitectos e ingenieros; nos referimos al intenso desarrollo de la nueva ciencia urbana o a la génesis de lo que hoy conocemos como *urbanismo*.

Ya que el ámbito de la cartografía es objeto de estudio específico en este mismo tomo, señalaremos tan solo su importancia estratégica en la planificación de los grandes temas relativos a las divisiones administrativas nacionales, relacionadas a su vez con las cuestiones de transporte y aguas y a los asuntos urbanos. En este sentido resulta de gran importancia la secuencia de transición entre la Comisión General de Estadística del Reino (1856), la Junta General de Estadística (1861) y el Instituto Geográfico y Estadístico (1870), ligados a las figuras personales de los ingenieros militares Francisco Coello de Portugal (1822-1899)⁵⁴ y Carlos Ibáñez de Ibero (1825-1891)⁵⁵. Entre ambas, y en lo que afecta a la enseñanza y la aplicación gráfica, habría que recordar en este punto la Escuela Práctica de Ayudantes para la Medición del Territorio (1859), creada ex profeso a la par que la ley general de medición del territorio nacional⁵⁶.

Volviendo a enlazar con nuestro discurso específico, recordemos que entre 1840 y 1846 los ingenieros de caminos Ribera, Merlo y Gutiérrez ya habían producido un plano de Madrid a la escala de 1:1.250. Es muy probable que esta obra sirviera de referencia para las sucesivas reales órdenes de 1846 y 1848 relativas a la producción de los planos geométricos de población, normalmente incumplidas por los diversos municipios. Se trataba en definitiva de evidenciar la necesidad de unos documentos precisos sobre el estado de las ciudades y las poblaciones para establecer en cada caso el proyecto de planificación de las mismas.

Nos encontramos así ante un nuevo ámbito de actuación en el que se aúnan muy diversas cuestiones entrelazadas, que afectarían además a las atribuciones respectivas de los arquitectos y los ingenieros. Como parte ineludible de esta planificación urbana no habría que olvidar además las necesarias dotaciones de abastecimiento y evacuación de las aguas, así como las redes y elementos del transporte, o los nuevos servicios de suministro de gas, electricidad o telegrafía. Esta nueva dinámica de la segunda mitad del siglo XIX tendría su reflejo en los distintos planes de estudio que tratarían de actualizar y reclamar tanto la Escuela de Arquitectura como la de Caminos.

⁵⁴ J. M. MARTÍN LÓPEZ: *Francisco Coello: su vida y su obra*, Madrid, Ministerio de Fomento, 1999.

⁵⁵ C. MARTÍNEZ UTESA: *Ciencia y milicia en el siglo XIX en España: el general Ibáñez de Ibero*, Madrid, Instituto Geográfico Nacional, 1975.

⁵⁶ Dirigida inicialmente por el ingeniero de montes Agustín de Pascual, cambiaría su nombre dos veces: Escuela Especial de Ayudantes de Topografía Catastral (1861) y Escuela Especial del Catastro (1865); desaparecería como tal en 1869. L. URTEAGA: «La Escuela del Catastro», en *150.º aniversario de la creación de la Comisión de Estadística General del Reino*, Madrid, Instituto General de Estadística, 2007 pp. 267-286.

La aplicación del dibujo al reflejo y al proyecto de la ciudad será así uno de los nuevos grandes temas iniciados en la segunda mitad del Ochocientos, en evidente relación con los procesos demográficos y las dinámicas de la nueva sociedad industrial. Y en este proceso se van a superponer en gran medida los temas de la arquitectura y la obra pública desde sus diversas angulaciones. Para comprobar este hecho, podemos contemplar someramente los dos grandes hitos iniciales centrados en los ejemplos de Madrid y Barcelona, ligados a las figuras del arquitecto e ingeniero andaluz Carlos María de Castro (1810-1893) y al ingeniero catalán Ildefonso Cerdá (1815-1876). Mientras que el primero obtiene su título de arquitecto por la Academia en 1833, accede posteriormente a la ingeniería en relación con Larramendi y alcanza el grado de ingeniero de primera clase en 1853, y en 1856 el encargo de redactar el anteproyecto de ensanche de Madrid, que sería finalmente aprobado en 1860, Cerdá inicia su formación en Barcelona en 1831, con intereses algo dispersos entre la náutica, las matemáticas, el dibujo y la arquitectura, y acude a Madrid en 1836 para iniciar sus estudios de ingeniero, que finalizará en 1841. En cierto paralelismo con el proceso madrileño, el plan de ensanche de Barcelona estará redactado en 1859.

Atendiendo a nuestro particular enfoque, la relación de Cerdá con el proyecto de ensanche se inicia en 1854, cuando se le encarga la redacción del plano topográfico de los alrededores de Barcelona y entrega al mismo tiempo un anteproyecto de ensanche. El proyecto de Cerdá se antepuso finalmente a las propuestas de arquitectos como Miquel Garriga Roca (1808-1888) y Antoni de Rovira Trías (1816-1889), quienes a su vez habían abordado diversos planos de levantamiento de la ciudad. El caso de Madrid es en cierta manera simétrico, pues Castro utiliza el levantamiento previo de la ciudad, realizado por los ingenieros Ribera, Merlo y Gutiérrez, y adjunta el plano topográfico de los alrededores una vez encargado el anteproyecto de ensanche.

Arquitectos e ingenieros rivalizaron así sobre la nueva área temática, en la que el dibujo topográfico adquirió un papel relevante como instrumento básico de la gestión de la ciudad y del territorio. En este sentido, sería interesante realizar un estudio comparativo de los procesos de ensanche de las distintas ciudades españolas que se desarrollarían a lo largo de las siguientes décadas hasta adentrarse en el siglo xx⁵⁷. No obstante, la complejidad inherente a la planificación urbana y territorial resultaría a la postre un campo tan amplio que daría lugar a que cada profesional acabara encontrando un ámbito preferente de actuación⁵⁸. En términos generales, los arquitectos se situarían en

⁵⁷ Podemos mencionar aquí complementariamente los casos de San Sebastián y Bilbao. Véase A. MARTÍN RAMOS: *Los orígenes del ensanche Cortázar de San Sebastián*, Barcelona, Fundación Caja de Arquitectos, 2004.

⁵⁸ Esta división de misiones también acabaría afectando a su correlato de división administrativa. En este sentido resulta de interés la legislación del 1 y el 4 de julio de 1881, mediante la cual se establecen las competencias de los ministerios de Fomento y Gobernación sobre las construcciones civiles y las poblaciones.

el arco entre la arquitectura y la ciudad, mientras que los ingenieros, partiendo de la ciudad, acabarían ocupándose de las infraestructuras de la misma y abarcando casi en su totalidad la cuestión de la ordenación del territorio a través de las grandes decisiones sobre las redes de transporte de carreteras y ferrocarriles y las diversas estrategias sobre el agua de las redes fluviales y de los puertos marítimos. Como contrapunto final a esta visión general quedaría mencionar el caso de la Ciudad Lineal de Arturo Soria Mata (1844-1920), quien enlazaría al final del siglo los nuevos sistemas de transporte (el tranvía) con una nueva concepción de la ciudad; lamentablemente, el paso del dibujo a la realidad material resultó en gran medida decepcionante⁵⁹.

III.3. *Los nuevos temas y materiales*

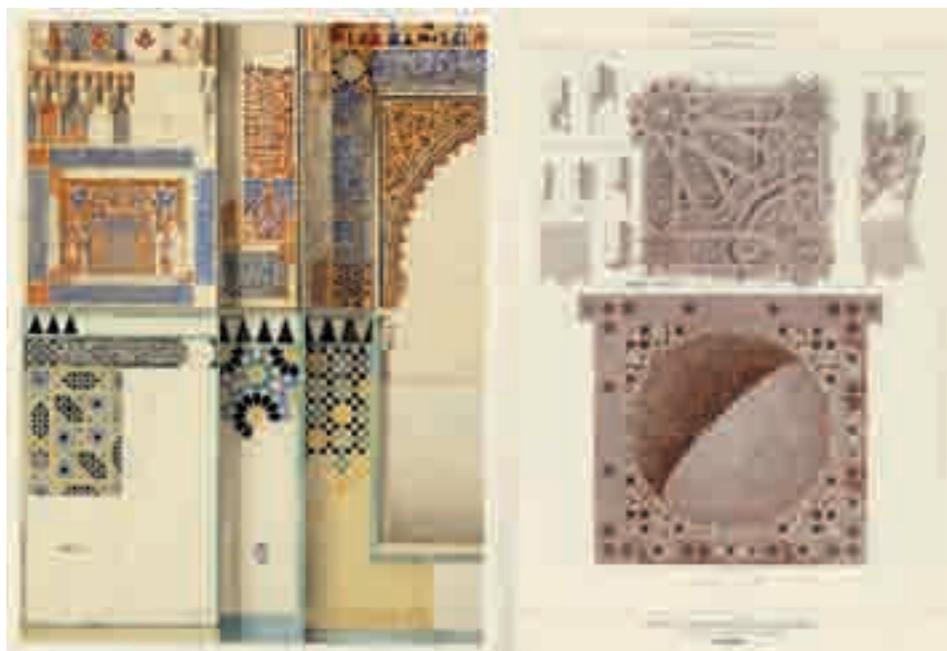
Ceñidos a lo esencial de nuestro discurso, no pretendemos aquí abundar en una visión general sobre la conjunción de los materiales como el hierro y el cristal y las nuevas tipologías edificatorias surgidas de los grandes temas antes enunciados, sino preguntarnos sobre cuáles pudieron ser las relaciones entre estos asuntos y los aspectos gráficos a ellos ligados desde la doble visión de la arquitectura y la obra pública. En este sentido, se trataría de observar nuevamente con algo más de atención la triple faceta del dibujo atendiendo en primer lugar a la transmisión de los conocimientos tipológicos y constructivos a través de las publicaciones; en segundo lugar, a su estrategia docente en las escuelas, y finalmente, a sus aplicaciones o implicaciones en la vida profesional.

En lo que al primer apartado se refiere se puede observar a lo largo del siglo una progresiva intensificación y pormenorización de las nuevas aplicaciones del hierro a la construcción en general. Desde las descripciones genéricas del tratado de Rondellet, ceñidas en gran medida a ejemplos concretos de aplicación de la fundición, los tratados y las publicaciones como las de Reynaud irían aumentando y especializando su discurso gráfico en función de las nuevas estrategias de producción industrial y las tipologías o temas de nuevo desarrollo, cual sería el caso de las construcciones ferroviarias. Un paso posterior lo constituirían las reflexiones sobre el nuevo material y las nuevas estrategias de proyecto, tanto estilísticas como de planteamientos constructivos, surgidas de publicaciones como las de Viollet Le Duc.

Lógicamente, un recorrido similar se establece en las estrategias docentes de las escuelas, donde las enseñanzas un tanto genéricas sobre la construcción se irían especializando y diversificando paulatinamente en relación con las investigaciones y progresos de la mecánica y la resistencia de materiales. Desde nuestro punto de vista particular, habría que destacar dos aspectos de importancia: el desarrollo de los procedimientos de cálculo gráfico y la necesidad del dibujo de detalle. En este sentido, habría que resaltar el polivalente despliegue de la estereotomía, que, desde sus facetas tradicionales en relación con la piedra y la madera, tendría que ampliar su campo a la construcción metálica.

⁵⁹J. R. ALONSO PEREIRA: *La ciudad lineal de Madrid*, Barcelona, Fundación Caja Arquitectos, 1998.

Estos aspectos gráficos incidirían finalmente en los procesos de producción del proyecto ligados a los nuevos temas y materiales; de alguna manera, la incorporación del hierro va a suponer un cambio o novedad importante en los procesos de definición gráfica de las construcciones, de donde va a surgir lo que habitualmente entendemos en la actualidad por *detalle constructivo*. Desde una visión general, hasta mediados del siglo XIX los planos de los proyectos se centraban básicamente en la definición general de las plantas y los alzados, y en ciertos casos incorporaban algunos perfiles o secciones. En realidad, no hacía falta mucho más, pues la construcción se concretaba mediante unos recursos tradicionales muy restringidos y compartidos por casi todos, y la definición se completaba mediante unas cláusulas contractuales escritas que podrían sintetizar lo que hoy conocemos como *pliego de condiciones, mediciones y presupuesto*. En todo caso, y ante algunas construcciones de mayor



3.9. Dibujos de levantamiento realizados para el conocimiento y la difusión de nuestro patrimonio edificado: la Alhambra de Granada, 1859-1861: Estos grabados o litografías se efectuaban a partir de dibujos preparatorios que eran posteriormente grabados o litografiados para la estampa de la serie Monumentos arquitectónicos de España. El primero de ellos es un ejemplo de los primeros realizados por el arquitecto Jerónimo de la Gándara (1825-1870) y refleja un aspecto parcial del mirador de Daraxa o Lindaraja, mientras que el segundo es el grabado debido a Joaquín Pi y Margall, en base al dibujo del arquitecto Nicomedes de Mendivil Cuadra; este último detalla uno de los pabellones del Patio de los Leones. Aunque la idea inicial sobre la producción de estos dibujos se basaba en los trabajos de los alumnos, fueron los profesores de la Escuela de Arquitectura y algunos otros profesionales los que finalmente acabaron realizando los planos utilizados como base para la publicación, por lo que obtuvieron ciertas remuneraciones.

enjundia, la escala de detalle se aplicaba a la definición morfológica de los elementos de ornato, como sería el caso de los órdenes empleados y sus molduraciones. Otro rango de detalle se establecería en la definición de la estereotomía, aspecto este que en el caso de las construcciones civiles era tradicionalmente abordado por los aparejadores o maestros de cantería.

La incorporación de la construcción metálica va a suponer así un nuevo rango de definición del proyecto que va a ser el detalle constructivo⁶⁰. Ya no se trata de un ámbito compartido, sino de un saber nuevo, en gran medida especializado, tanto desde el conocimiento de los elementos disponibles por la producción industrial como desde las maneras de ser calculados en cuanto a su estabilidad y resistencia, así como en lo relativo a los modos de unión y puesta en obra. En el caso de España habría que observar además el atraso inicial en estos aspectos industriales y tecnológicos, que supondrían cierta dependencia de nuestros proyectistas con respecto a las producciones europeas.

Estos impulsos iniciales, unidos a otros tantos que no viene al caso pormenorizar aquí, fueron creando y consolidando cierta tradición local que supondría una extensión más general de estos sistemas al final del siglo; entonces se produjeron una serie de obras de mayor enjundia en los planteamientos y la resolución de los temas ligados a los nuevos sistemas constructivos. Como ejemplo podríamos citar el caso del arquitecto e ingeniero Alberto de Palacio Elisagüe (1856-1939), con su contribución al proyecto de la nueva estación ferroviaria de Atocha en Madrid (1888-1892) y el espectacular puente colgante de la ría de Bilbao (1889)⁶¹.

III.4. *El registro gráfico y la intervención en el patrimonio*

La segunda mitad del siglo XIX va a suponer el desarrollo de una faceta de aplicación del dibujo que hasta entonces era muy escasa en España. Nos referimos a la documentación gráfica del patrimonio edificado abordada desde una voluntad sistemática e institucional. Frente a los intentos episódicos antes mencionados, los últimos decenios del siglo van a conocer dos frentes o estrategias de trabajo complementarias: la primera, el registro gráfico como fin en sí mismo considerado, y la segunda, la incipiente asunción de los problemas de conservación e intervención en ese mismo patrimonio.

Las bases o fundamentos próximos de estas estrategias se producen en la mitad de los años cuarenta del siglo, época en la que casi coinciden la creación de las comisiones de monumentos (1844) y la de la Escuela de Arquitectura (1845). A partir de entonces se manifiesta la preocupación específica por el estudio y la difusión de nuestra historia artística, al tiempo que se sientan las bases para establecer los procedimientos de protección y actuación sobre los bienes muebles e inmuebles. Como casi

⁶⁰ S. LLORENS CORRALIZA, 1992.

⁶¹ A. PÉREZ TRIMIÑO: «Puente Vizcaya, de una idea en papel a una realidad en tierra firme», *Sancho el Sabio*, 27 (2007), pp. 81-98.

todo lo que ocurre en España en el XIX, este nuevo campo de acción debería ser entendido en relación con las actividades previas llevadas a cabo en Europa, donde estas estrategias fueron concretándose desde principios del siglo y desarrollando al mismo tiempo toda una serie de debates sobre los criterios de preservación e intervención que desembocarían en una producción teórica de actitudes o escuelas ligadas en gran medida a ciertas figuras señeras como Ruskin o Viollet Le Duc.

Volviendo a nuestros orígenes, la institución clave en estos inicios fue la Academia de San Fernando, a la que concernía la consideración de nuestro patrimonio artístico. Esta institución también resultaba fundamental en las comisiones de monumentos, en las que se observa el doble perfil de sus integrantes: el del erudito o especialista en el conocimiento histórico y el del arquitecto. Atendiendo a los aspectos gráficos, las figuras claves en estos momentos iniciales de la preocupación por el patrimonio podrían ser los arquitectos Antonio Zabaleta (1803-1864) y Aníbal Álvarez Bouquel (1806-1870). Desde su participación en la docencia, y en relación con las nuevas ideas sobre la historia, comenzaron a establecer las expediciones artísticas de los alumnos, cuyo objetivo prioritario se centró en el levantamiento de los monumentos de diversas ciudades. Tras las primeras campañas desarrolladas en Toledo durante 1849 y 1850, y a la vista de los resultados, el Ministerio de Industria, Comercio e Instrucción Pública se comprometió en 1850 a subvencionar anualmente las expediciones de los alumnos, a la vez que se enunciaba la idea de producir una gran publicación de los dibujos y estudios sobre nuestro patrimonio, titulada en ese momento *España artística y monumental*.

A partir de estos comienzos, y tras diversos avatares políticos e institucionales, entre 1856 y 1881 se desarrolla un ambicioso proyecto de documentación gráfica sobre nuestro patrimonio que, bajo el título de *Monumentos arquitectónicos de España*, va a producir un conjunto de dibujos y grabados de gran calidad que en su voluntad global no ha sido superado hasta el momento. Con la participación compartida del Ministerio de Fomento, la Academia de Bellas Artes, la Escuela de Arquitectura y en las fases finales la empresa privada de Gil Dorregaray, se editarán en estos años 470 hojas de texto y 278 grabados y litografías de gran formato. Además de su contenido intrínseco, esta obra supuso un considerable avance en la edición gráfica al contratar grabadores y estampadores extranjeros que formaron cierta escuela actualizada en las técnicas y recursos de las artes gráficas, como es el caso de la cromolitografía⁶². Pero aparte de resaltar el valor específico de esta obra habría que considerar en paralelo la nueva actitud ante la historia, que redundaría en dos aspectos de cierta importancia desde la consideración del dibujo: el renovado sentido didáctico del dibujo en la formación de los arquitectos y el nuevo planteamiento profesional de la restauración arquitectónica⁶³.

⁶² J. ORTEGA VIDAL, 2007, con las referencias bibliográficas complementarias.

⁶³ J. M. PRIETO GONZÁLEZ, 2001.



3.10. Dibujos para la restauración de los monumentos: la catedral de León, 1860-1880: A partir de la creación de las distintas comisiones, central y provinciales, es esta una faceta del dibujo desarrollada en la segunda mitad del siglo XIX, cuando se inicia una estrategia general y progresiva para documentar, diagnosticar y proyectar las intervenciones en los edificios. De este conjunto de actuaciones cabría destacar el caso de la catedral leonesa, de cuya ingente documentación gráfica se ofrecen aquí dos planos. El primero corresponde a la campaña inicial de Matías Laviña Blasco (1860); el segundo, a la labor encadenada de Juan Madrazo Kuntz y Demetrio de los Ríos (1869-80). Entre ambos dibujos se puede observar el notable progreso experimentado a lo largo de unas décadas tanto en la formación y los criterios de los arquitectos como en el propio planteamiento y en la realización de los dibujos.

De esta manera, las asignaturas de dibujo conocerán cierta ampliación temática; frente a la abrumadora preponderancia inicial de los modelos del clasicismo, la nueva consideración de la historia diversificará en gran medida los edificios objeto de estudio y abrirá nuevos modelos de referencia, que en la estrategia mimética de la docencia y el aprendizaje de la composición o del proyecto contribuirán a la expansión de lo que se suele conocer como *eclecticismo*. En otro orden de la estructura docente, habría que resaltar aquí la recuperación hacia mediados de siglo de la figura del pensionado en Roma, que desde finales del XVIII había quedado prácticamente sin efecto. Para observar mínimamente la interacción de estos aspectos en relación con el dibujo, podríamos citar los ejemplos de los primeros pensionados de finales de 1852, que fueron Francisco Jareño Alarcón (1818-1892) y Jerónimo de la Gándara (h. 1825-h. 1877). Tras la intensa y poco conocida aportación gráfica de sus estudios de pensionado, accedieron a las cátedras de Historia del Arte y Composición, respectivamente, y desempeñaron una labor fundamental en la gestión inicial de la obra *Monumentos arquitectónicos de España*, a la cual contribuyeron realizando de su propia mano un considerable número de dibujos. A estos valores inicialmente gráficos habría que adjuntar sus intensas trayectorias profesionales, sin duda de las más importantes de la época.

Como ya se ha enunciado, un renovado campo de aplicación del dibujo se estableció en la restauración arquitectónica. En este sentido, la dinámica del proyecto exigía el trabajo previo de documentación gráfica de lo existente para, después de discernir y reflexionar sobre la consideración de los problemas del edificio, articular las estrategias de intervención. En este sentido, tras la pionera actuación en la catedral de Palma de Mallorca⁶⁴, tal vez la referencia más intensa se estableció en torno a la de León. En ella, las sucesivas actuaciones de Modesto Laviña, Juan de Madrazo y Demetrio de los Ríos van a suponer, por un lado, la génesis de la restauración en España y, en paralelo a ella, un despliegue de recursos gráficos inusitados hasta el momento en nuestro patrimonio edificado⁶⁵. A partir de este hito inicial se va a desarrollar una dinámica en la que el otro hito de gran enjundia se establecerá en la catedral de Sevilla. En esta ocasión habría que destacar las dramáticas intervenciones del catedrático de Estereotomía de la Escuela de Madrid Adolfo Fernández Casanova⁶⁶.

Además de estos casos singulares, la aplicación del dibujo a la restauración de los monumentos producirá un corpus gráfico extendido de diversa calidad según los casos particulares, al que habría que objetar la falta de una voluntad sistemática general en cuanto a su recopilación y catalogación por parte del Estado. Será tan solo en las primeras décadas del siglo xx cuando comience una estrategia general de establecer una catalogación sistemática de monumentos por provincias. No obstante, en estas nuevas estrategias el dibujo, en general, brillará por su ausencia.

III.5. *Las técnicas y los recursos del dibujo al final del siglo*

Frente a la penuria nacional constatada en las décadas anteriores, este período va a conocer cierto impulso en la disponibilidad de las tecnologías aplicadas al dibujo, tanto desde el conocimiento y la conexión con los avances de otros países como desde la distribución y la producción de los distintos recursos instrumentales. Ante la falta de estudios monográficos sobre instrumentos de dibujo y medición en España, las aproximaciones a este tema se han de basar por el momento en fuentes bibliográficas⁶⁷. En este sentido, se puede constatar el progreso antes anunciado comprobando la presencia de tratados sobre el uso y los tipos de instrumentos de trazado, asociados en algún caso a conocidos fabricantes europeos⁶⁸. Estos tratados-catálo-

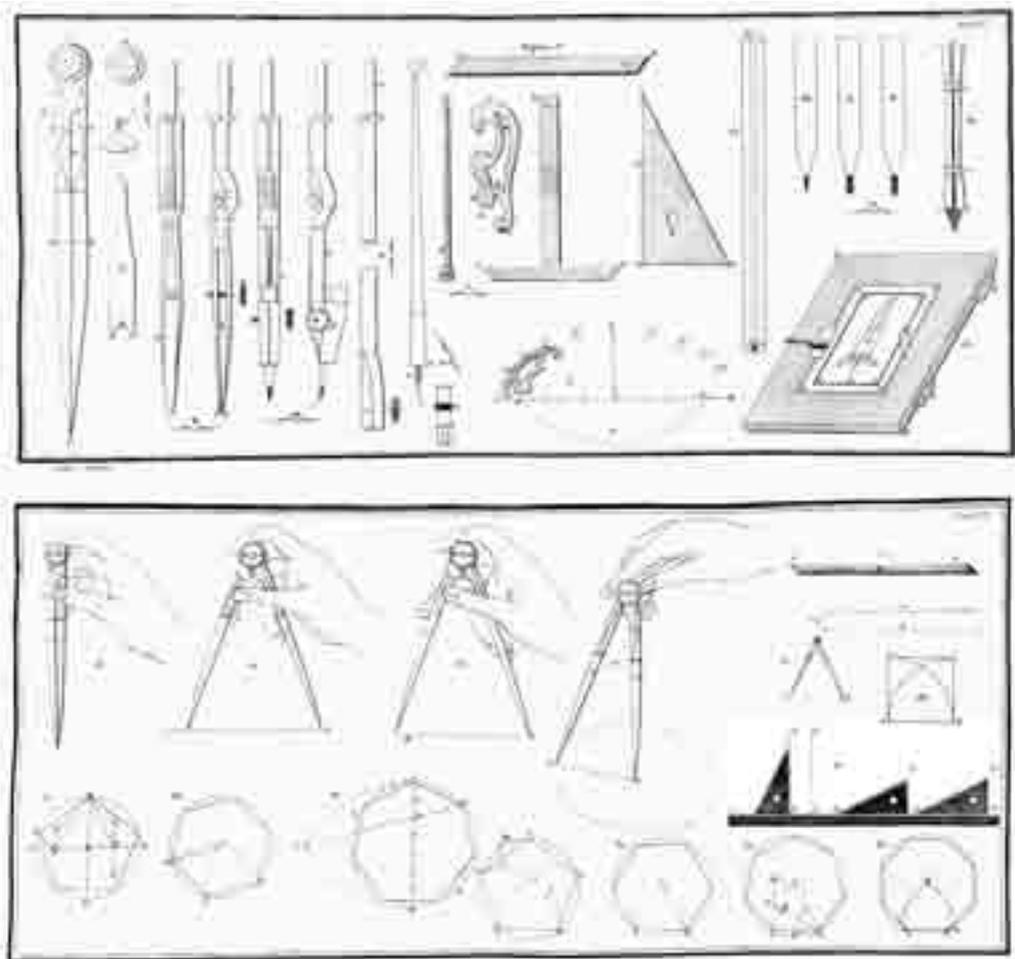
⁶⁴ C. CANTARELLA CAMPS: «La intervención del arquitecto Peyronnet en la catedral de Palma», *Mayurqa*, 14 (1975), pp. 185-213.

⁶⁵ Sobre el proceso de restauración de la catedral de León, I. GONZÁLEZ VARAS: *La catedral de León: el sueño de la razón*, León, Edileasa, 2001.

⁶⁶ A. JIMÉNEZ MARTÍN, 1999.

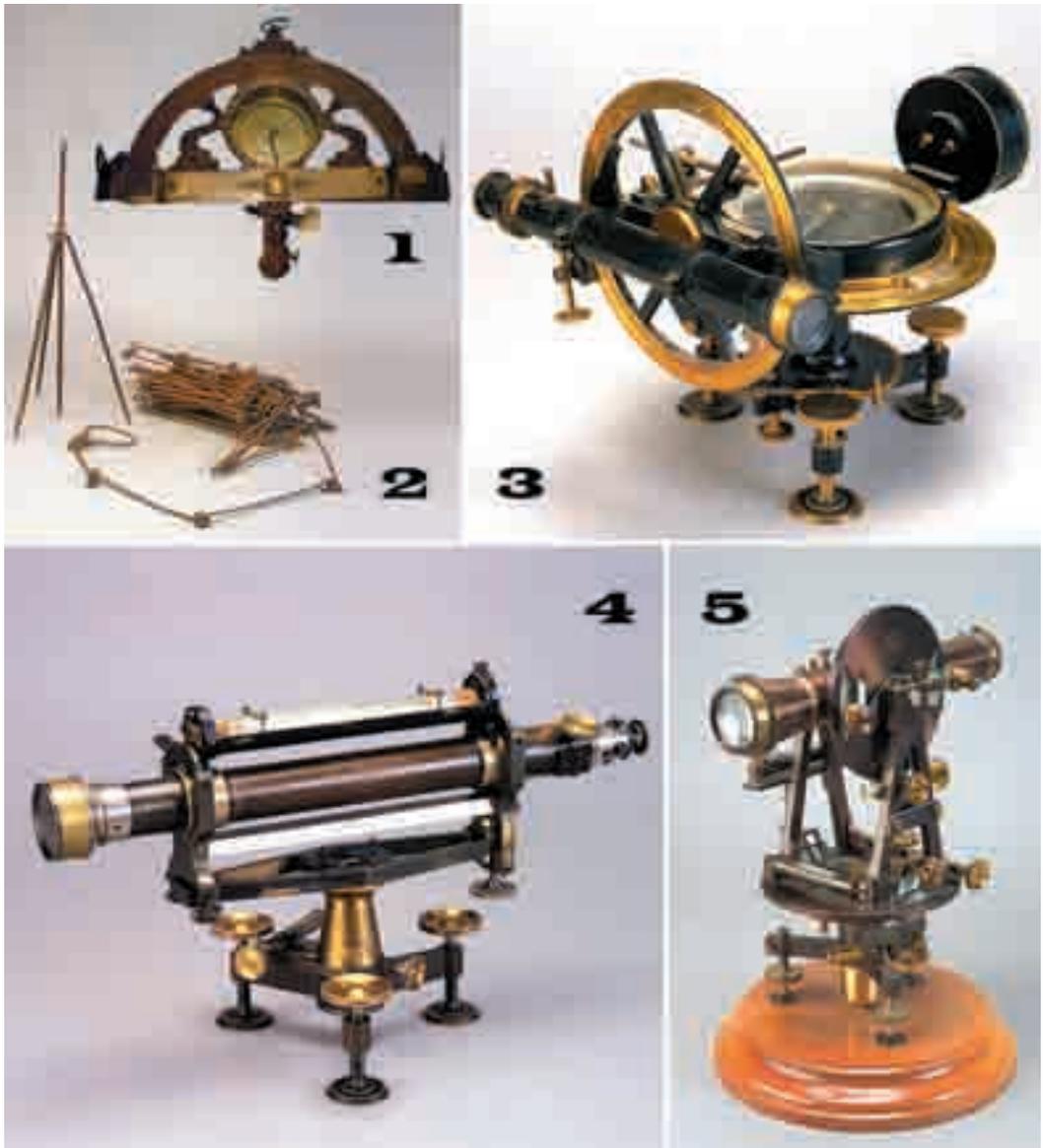
⁶⁷ En relación con la cartografía tiene interés la consulta del catálogo *Instrumentos históricos del Instituto Geográfico Nacional*, Madrid, Ministerio de Fomento, 2002.

⁶⁸ Tales serían los casos de las obras que con el mismo título de *Mathematical instruments* editaron autores como John Fry Heather o William Ford Stanley, que aparecen en las bibliotecas de las escuelas de Caminos y Arquitectura en esos años.



3.11. Instrumentos de dibujo: Los datos sobre los instrumentos de dibujo durante el siglo XIX en España son en general escasos y dispersos, lo que evidencia la necesidad de estudios específicos. Uno de los repertorios gráficos más tempranos sobre estos instrumentos aparece en la obra *Elementos de dibujo lineal o delineación del arquitecto Juan Bautista Peyronet, encargado por José Mariano Vallejo*, para uso de las escuelas del Reino, de las clases de las universidades y de los artistas, artesanos, fabricantes y demás personas que profesan cualquier ramo de la industria, publicada en 1837. De la observación de las dos primeras láminas de la misma se puede deducir el equipo básico de dibujo, compuesto por tablero, regla, gramil o muceta, cartabón, pistolet o plantilla de curvas, compás regular u ordinario, compás de piezas para lápiz o tinta, tiralíneas, transportador, etc.

gos introdujeron desde fechas tempranas referencias sobre ciertos avances, como ocurriría en el caso del planímetro inventado por el matemático Jacob Amsler en 1854. Una referencia complementaria sobre la disponibilidad de instrumentos de dibujo se establecería en la ampliación de los fabricantes extranjeros; así, se produjo



3.12. Instrumentos de medición: Al igual que ocurre con los instrumentos de dibujo, los datos disponibles sobre los de medición evidencian también la necesidad de estudios específicos en lo relativo a la ingeniería y la arquitectura. Es presumible la mayor abundancia de los aparatos importados, aunque se conservan testimonios de una producción nacional que sería interesante conocer mejor. De los fondos conservados en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología se adjunta un grafómetro de principios del siglo fabricado por Vicente Comas en Cartagena (1), mientras que el resto de piezas pertenecen al Instituto Geográfico Nacional: una cadena de agrimensor (2), una brújula taquimétrica de Grassell (h. 1890, Madrid-París) (3), un nivel de precisión de Bastos y Laguna (h. 1890, Zaragoza) (4) y un taquímetro de Amado Laguna (h. 1900, Zaragoza) (5).

un notable impulso en la industria británica, que se extendería al continente americano⁶⁹.

Aunque con cierto retraso y desfase, se constata igualmente cierta actividad nacional en la distribución y la producción de estos instrumentos. En este sentido, existen diversas referencias de fabricantes, más o menos difusas, como la de Martínez Geli en Ferrol o la del establecimiento de J. Rossel en Barcelona, quien anunciaba su fábrica en plaza del Palacio, número 12, en el año 1860. De hacia 1866 existen noticias de aparatos fabricados por Torres Hermanos y Cía., en relación con Cádiz y Santander. Las referencias más intensas de catálogos de establecimientos de venta se producen en Madrid, donde se pueden enumerar las de Grasselli y Zambra (desde 1858), Oliva y Marín, Aramburo Hermanos (1883) y L. Péant e Hijos (1895). Más en relación con la fabricación de instrumentos habría que reseñar la fábrica zaragozana Laguna de Rins⁷⁰ y el establecimiento madrileño de Isidoro Sánchez. A través de estas referencias y otras complementarias⁷¹ se puede constatar que a finales del siglo XIX existía ya en España una disponibilidad de recursos gráficos equiparable a la de otros países de nuestro entorno.

Habría que destacar finalmente los progresos de las técnicas fotográficas, que, unidas a los desarrollos teóricos de la perspectiva, de los aparatos topográficos y de los sistemas de cálculo y medición, produjeron al final del siglo un estado de la cuestión que permitió la determinación con bastante precisión de las medidas de los edificios a partir de tomas fotográficas, esto es, la fotogrametría⁷²; la gran novedad se basaba en su carácter de máxima objetividad, tanto en la descripción del estado del edificio como en la información métrica del mismo. Frente al retraso de la aplicación de la fotogrametría a las construcciones⁷³, en los ámbitos geográficos y militares las

⁶⁹ A modo de ejemplo se pueden reseñar las casas de Londres Elliot Brothers (1850) y W. H. Harling (1851), las de Manchester A. G. Thornton (1880) y Joseph Halden & Co. o la de Nueva York Keuffel & Esser, fundada en 1867 y que ofrecerá su primer catálogo en 1868.

⁷⁰ Amado Laguna de Rins (1849-1907) se unió en 1883 con Atilano Bastos, quien en 1880 tenía ya un taller de instrumentos, para formar la fábrica Bastos y Laguna, que luego devendría en la empresa Laguna de Rins. Ver ficha biográfica en el volumen V de esta colección, pp. 665-666.

⁷¹ La segunda edición del *Tratado de topografía* (1891) de Julián Suárez Inclán, coronel del Ejército, nos informa del uso del papel ferroprusiato para la copia de planos o de la reproducción fotográfica; en cuanto a los pantógrafos, el mismo manual refiere los de Dollond, el micrografo, el de Gavard, el decimal y el de Corradi.

⁷² A partir de los ensayos pioneros del capitán de ingenieros francés Aimé Laussedat (1819-1907), la aplicación de los principios de intersección de haces se culminaría en los trabajos del arquitecto Albrecht Meydenbauer (1834-1921), quien en 1885 fundó la Königlich Preussische Messbild-Anstalt, el primer servicio fotogramétrico para la documentación de edificios históricos.

⁷³ La primera publicación sobre el asunto es ya de 1927, cuando el ingeniero José María Torroja y Miret (1884-1954), hijo del catedrático de Geometría Descriptiva de la Universidad Central Eduardo Torroja Caballé (1847-1918), aplica la técnica al levantamiento del puente de Toledo de Madrid. J. M. TORROJA: «El plano fotogramétrico del Puente de Toledo», *Arquitectura*, 96 (1927), pp. 91-98. Véase también MURO, URTEAGA y NADAL, 2002.

técnicas fotogramétricas se comenzaron a aplicar a la representación del territorio desde fechas bastante tempranas. De hecho, la fotogrametría topográfica gozó durante un tiempo en España de cierta condición pionera. Ya en 1863 la Academia de Ciencias convocó un concurso que ganó el propio Laussedat, y el Ejército se interesó a su vez por las posibles aplicaciones del sistema a la cartografía. Como ejemplo de estas actividades podríamos destacar la figura del capitán Luis Torres y Quevedo, quien entre 1883 y 1895 abordaría levantamientos fotogramétricos de fragmentos de territorio con curvas de equidistancia.

BIBLIOGRAFÍA

- ARRECHEA MIGUEL, Julio: *Arquitectura y romanticismo*, Valladolid, Universidad, 1989.
- BASSEGODA NONELL, Joan: *Los maestros de obras de Barcelona*, Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1973.
- BONET CORREA, Antonio (coord.): *La polémica ingenieros-arquitectos en España: siglo XIX*, Madrid, Turner, 1985.
- BERCHEZ, Joaquín, y Vicente CORELL: *Catálogo de diseños de arquitectura de la Real Academia de BB. AA. de San Carlos de Valencia (1768-1848)*, Valencia, COAVM / Xarait, 1981.
- Exposició commemorativa del centenari de l'Escola d'Arquitectura de Barcelona, 1875-1975*, catálogo, Barcelona, ETSAB, 1975.
- GARCÍA BODEGA, Andrés: *Guadalajara y los ingenieros militares*, Guadalajara, COACM, 2006.
- GARCÍA-GUTIÉRREZ MOSTEIRO, Javier: «En torno a los principios de Geometría Descriptiva de Matías Laviña», introducción a la edición facsímil de *Principios de Geometría Descriptiva* (1859) de Matías Laviña, Zaragoza, Entasis, Cuadernos de Arquitectura de la cátedra Ricardo Magdalena, Institución «Fernando el Católico» / CSIC, 2010.
- GENTIL BALDRICH, José María: «La Dirección General de Caminos y otros personajes, en 1823», *Revista de Obras Públicas*, 3365 (1997), pp. 61-70.
- GUIJARRO MORA, Víctor: «La obtención y fabricación de instrumentos científicos», en José Luis Peset (dir.): *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, t. IV: *El siglo XVIII*, Salamanca, Junta de Castilla y León, 2002, pp. 541-563.
- ISAC, Ángel: *Eclecticismo y pensamiento arquitectónico en España: discursos, revistas, congresos, 1846-1919*, Granada, Diputación Provincial, 1987.
- JIMÉNEZ MARTÍN, Alfonso: «Las escuelas de la Gloriosa», *Revista EGA*, 2 (1994), pp. 115-124. — *El espíritu de las antiguas fábricas: escritos de Adolfo Fernández Casanova sobre la catedral de Sevilla (1888-1901)*, Sevilla, FIDAS, 1999.
- KURTZ, Guillermo F.: «Origen de un medio gráfico y un arte. Antecedentes, inicio y desarrollo de la fotografía en España», en Juan Miguel Sánchez Vigil (coord.): *La fotografía en España: de los orígenes al siglo XXI*, Madrid, Espasa-Calpe (Summa Artis, XLVII), 2001, pp. 13-190.

- La construcción del territorio valenciano: patrimonio e historia de la ingeniería civil*, Valencia, CICCPCV / CEDEX, 2003.
- LLORENS CORRALIZA, Santiago: *El dibujo constructivo*, tesis doctoral inédita, ETSAM, 1992.
- MADERA SÁNCHEZ, Francisco Javier: *De la Academia a la Escuela: el dibujo en la formación de los arquitectos de Madrid*, tesis doctoral inédita, ETSAM, 1998.
- MAESTRE ABAD, Vicente: «Del arte ornamental: la formación escolar del artista industrial barcelonés en época isabelina», *Locus Amoenus*, 8 (2005-2006), pp. 279-305.
- MARÈS DEULOVOL, Federico: *Dos siglos de enseñanza artística en el Principado: la Junta Particular de Comercio, escuela gratuita del diseño*, Barcelona, Academia Provincial de Bellas Artes, 1964.
- Memorias de la mirada*, catálogo (com., Bernardo Riego), Santander, Fundación Marcelino Botín, 2001.
- MOSENA ARGOTE, Juan José: *El dibujo y los sistemas de representación desde la Academia al movimiento moderno*, tesis doctoral inédita, ETSAM, 1990.
- MURO, José Ignacio, Luis URTEAGA y Francesc NADAL: «La fotogrametría terrestre en España (1914-1958)», *Investigaciones Geográficas*, 27 (2002), pp. 151-172.
- NAVASCUÉS PALACIO, Pedro: *Arquitectura española, 1808-1014*, Madrid, Espasa-Calpe (Summa Artis, XXXV), 1993.
- ORTEGA VIDAL, Javier: «Los planos históricos de Madrid y su fiabilidad topográfica», *Catastro*, 39 (2000), pp. 65-85.
- «La Alhambra y la Escuela de Arquitectura», en *Monumentos arquitectónicos de España: palacio árabe de la Alhambra*, Madrid, ETSAM / Instituto Juan de Herrera, 2007, pp. 1-31.
- y José Francisco MARÍN PERELLÓN: «La maqueta de León Gil de Palacio (1830) como documento cartográfico», en *Madrid 1830: la maqueta de León Gil de Palacio y su época*, Madrid, Ayuntamiento, 2005, pp. 12-25.
- Planos históricos de obras hidráulicas*, Madrid, CEHOPU, 1985.
- PRIETO GONZÁLEZ, José Manuel: «La Escuela de Arquitectura y la enseñanza de la Restauración Monumental», en Ignacio González Varas (dir.): *La catedral de León: el sueño de la razón*, León, Edilesa, 2001, pp. 80-99.
- «Cuando enseñar la arquitectura aún era poco probable», en José Luis Peset (dir.): *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, t. IV: *El siglo XVIII*, Salamanca, Junta de Castilla y León, 2002, pp. 685-723.
- *Aprendiendo a ser arquitectos: creación y desarrollo de la Escuela de Arquitectura de Madrid (1844-1914)*, Madrid, CSIC, 2004.
- PUIG-PLA, Carles: «Desarrollo y difusión de la construcción de máquinas e instrumentos científicos: el caso de Barcelona, siglos XVIII-XIX», *Scripta Nova*, IV (69/8) (2000), pp. 1-12.
- RUIZ ORTEGA, Manuel: «Epílogo: la enseñanza oficial del dibujo», en *Fortuny-Picasso y los modelos académicos de enseñanza*, Valladolid, Junta de Castilla y León, 1989, pp. 213-225.

SÁENZ RIDRUEJO, Fernando: *Ingenieros de caminos del siglo XIX*, Madrid, AC / CICCIP, 1990.

— *Los ingenieros de caminos*, Madrid, CICCIP, 1993.

— *Una historia de la Escuela de Caminos (1802-1898)*, Madrid, Fundación Agustín de Betancourt / ETSICCP, 2005.

SÁNCHEZ MEDRANO, Francisco José: *Los orígenes de la enseñanza académica de la arquitectura en Murcia*, Murcia, Universidad Católica San Antonio, 2005.

VIDAURRE JOFRE, Julio: «Panorama histórico de la enseñanza de la arquitectura en España desde 1845 a 1971», en Antonio Fernández Alba (coord.): *Ideología y enseñanza de la Arquitectura en la España contemporánea*, Madrid, Túcar, 1975, pp. 33-91.

El dibujo de máquinas: sistematización de un lenguaje gráfico

Patricia Zulueta Pérez
Universidad de Valladolid

Para llevar a cabo un análisis de la representación gráfica de la máquina en el siglo XIX es imprescindible reparar previamente en los grandes cambios que se produjeron durante el Siglo de las Luces, en la conjunción de diversos fenómenos tecnológicos y socioculturales que cambiaron el carácter de la vida en las últimas décadas del XVIII. La particular significación histórica del período ilustrado y los incipientes postulados de la geometría descriptiva lo convirtieron en un momento fundamental, un antes y un después en la representación, lo cual supuso un lapso esencial entre la escenificación real y figurativa que había comenzado en la época medieval y la esquematización normalizada propia de la Edad Contemporánea.

El dibujo de máquinas del XVIII aún participaba en gran medida de las características del dibujo en general. Los científicos ilustrados empleaban cierta codificación en su ejercicio gráfico que se acompañaba de la figuración y de un excelente tratamiento artístico de los objetos representados. Fue entonces, en el XVIII tardío y como recurso innovador, cuando los registros técnicos fueron ganando espacio dentro de la representación. Se mantenía la lectura escenificada propia de momentos precedentes, pero gradualmente se iba incorporando al espacio gráfico disponible una definición más técnica, de tal manera que el dibujo de las máquinas en el XIX fue perdiendo progresivamente parte de su calidad plástica en aras de la producción industrial. Los nuevos postulados geométricos, unidos a la fabricación en serie y al nacimiento del principio de intercambiabilidad (antecedentes directos de la normalización en la industria), contribuyeron decisivamente a la creación de un lenguaje gráfico propio de la ingeniería que, como tal, fue adquiriendo un conjunto de caracteres y símbolos —una sintaxis— incomprensible para el lector no cualificado.

En el mundo industrial que surgió tras el siglo XVIII el dibujo no solo no perdió su importancia comunicativa, sino que utilizó sus capacidades para expresar y registrar ideas e información y desarrollar paulatinamente principios y convenios hasta llegar a la situación actual, en la cual el dibujo industrial constituye un lenguaje gráfico preciso y universal. A partir de aquel momento discurrieron durante más de una centuria dos corrientes bien diferenciadas: por un lado, fluyó la representación englobada en

el mundo del arte —de la figuración objetiva o abstracta— y, por otro, la representación industrializada de la máquina, en la que el dibujo actuaba como sistema selectivo, comenzando entonces a imperar el significado sobre el parecido y convirtiéndose en objetivo principal de la representación técnica la descripción precisa del objeto frente al realismo de lo representado.

I

UNA APROXIMACIÓN AL ANÁLISIS GRÁFICO: EL DIBUJO DE MÁQUINAS

El dibujo es más fácil que su análisis de la misma forma que el lenguaje es más fácil que su teoría¹.

En la investigación gráfica predomina, en general, el método inductivo de investigación, lógicamente de inducción incompleta, pues los elementos del objeto de investigación, en nuestro caso planos y dibujos de una época, no pueden ser enumerados y estudiados en su totalidad, lo que obliga al sujeto de la investigación a recurrir a una muestra suficientemente representativa que permita establecer generalizaciones. Al igual que el método empírico de investigación científica, el inductivo está indicado en el estudio de las ciencias descriptivas, y en la investigación gráfica generalmente predomina lo descriptivo sobre lo analítico, habiéndose tratado los dibujos en cierto modo como obras de arte y procediendo a su descripción en términos exclusivamente estéticos. Nos explica el profesor Leopoldo Uría que existe un desfase evidente entre la cultura operativa —rica, dinámica, inventiva— y la cultura reflexiva —escasa y diluida en los propios dibujos—, una diferencia creciente entre el hacer y el pensar. El análisis gráfico, como proceso de reducción, trata de estudiar cada vez un aspecto determinado prescindiendo temporalmente de los demás, pero siempre con el objetivo final de una mejor comprensión del objeto analizado, entendido este como unidad indivisible. Por lo tanto, y al igual que en otros trabajos de carácter gráfico acometidos anteriormente, se atenderá a las claves de la investigación que establece como pauta Jorge Sainz para completar el proceso de análisis de un dibujo determinado. La secuencia analítica debería partir de la observación funcional del objeto representado recurriendo, si fuera necesario, a fuentes documentales o historiográficas cuando en la obra gráfica no se reflejase. Posteriormente deberá examinarse su apariencia formal, el sistema de representación elegido y las variables gráficas que pudieran formar parte de la composición; por último, habrá de ser identificada la técnica gráfica utilizada: lápiz, tinta, lavado o grabado².

¹ L. URÍA, 2001, pp. 59-63.

² J. SAINZ, 1990, p. 196.

En la actualidad, se ha generalizado la consideración del dibujo como *lenguaje gráfico* en cuanto a su identificación con una normativa que incluye un léxico y una sintaxis que definen los aspectos metódicos de la representación; a ello debe sumarse su valor comunicativo como *expresión gráfica* incidiendo en su trascendencia como vehículo de contenidos. Una utilización intuitiva y pragmática de este lenguaje (al igual que de otros cotidianos y convencionales como el lenguaje oral) podría explicar el sofisma que se percibe con cierta frecuencia y que consiste en cuestionar la importancia de su estudio y conocimiento científico atendiendo tan solo a su inmediato carácter práctico, apoyándose exclusivamente en el dibujo como acción representativa.

Si hacemos un breve recorrido por las utilidades propias de la representación gráfica de la ingeniería, inicialmente podemos enumerar las siguientes: la realización de planos de proyectos, la utilización como medio de expresión de los técnicos mediante bocetos, y la elaboración de ilustraciones con intención didáctica o para la divulgación científica. Junto a estas, y con carácter esencial, se debería destacar el elevado interés que posee la representación gráfica como herramienta de investigación, de tal modo que de una documentación con determinado grado de fidelidad se puedan realizar análisis que permitan extraer conclusiones certeras. Esta última aplicación es con toda probabilidad la menos contemplada a la hora de detenerse en la máquina dibujada; tal vez sea que «solo desde intereses filosóficos se plantea teorizar sobre algo que podemos utilizar cotidianamente»³.

A la representación de mecanismos con su actual significado como lenguaje gráfico se han ido incorporando paulatinamente símbolos y especificaciones que, junto a la forma y la información espacial de los objetos, han proporcionado otros contenidos multiplicadores de las capacidades comunicativas de los planos industriales, entre los cuales se encuentran el tipo de materiales, los tratamientos superficiales, instrucciones para el montaje de piezas, tolerancias dimensionales y geométricas, etc. Se concluye así un largo tránsito hacia una representación normalizada y codificada, llegando a reunirse las características de calidad que le son propias al dibujo técnico: concisión, completitud, adecuación a los receptores de la información y economía representativa.

II

ANTECEDENTES EN LA REPRESENTACIÓN

El desarrollo tecnológico ha estado muy influenciado en todas las épocas por las distintas técnicas de representación gráfica. El grafiado de elementos mecánicos fue alejándose progresivamente de una figuración inicial de carácter fundamentalmente

³ L. URÍA, 2001.

descriptivo y evolucionando hacia una mayor claridad gráfica que proporcionase una interpretación inequívoca de los objetos.

Desde el Medioevo hasta el Renacimiento el dibujo de máquinas se basaba principalmente en la representación escenificada del objeto; las muestras gráficas propias de este período, habitualmente enclavadas en textos de carácter técnico, consistían, en general, en modelos del conjunto del mecanismo con una función meramente ilustrativa, y en ocasiones presentaban algunos atisbos de convencionalismo. Recordemos el álbum de Villard de Honnecourt o el libro de Ibn al Razzaz al Jazari sobre los ingenios mecánicos, que, como tratados medievales que eran y según explica Erwin Panofsky, indican tan solo qué cosas pueden hacerse y cómo se deben hacer. No intentan ni por asomo explicarle al lector por qué se han de hacer de aquel modo determinado, no tratan de proporcionar al lector una serie de conceptos generales que puedan servirle de base para resolver problemas no previstos por el autor⁴.

Sin embargo, en el Renacimiento la representación técnica comenzó a exhibir ciertos aspectos gráficos recurrentes y junto a la lectura teatralizada de la máquina y su entorno, propia de los artistas, fueron elaborándose otro tipo de dibujos en los que se mostraba el objeto mecánico con una descripción más precisa, mediante cierta esquematización y atenuando la ambientación del espacio circundante. Para cubrir las necesidades representativas y resolver la cuestión básica de la expresión gráfica —que no era otra que la de definir en un soporte bidimensional una realidad espacial— se fueron desarrollando desde los comienzos de la Edad Moderna los denominados *sistemas de representación* como codificación geométrica por excelencia, a partir del concepto de proyección, cónica o cilíndrica. Entre ellos, la perspectiva —basada en la proyección cónica— se desarrolló a partir de los métodos de observación empírica y examen científico, teniendo como campo más próximo el de las matemáticas. Durante los siglos xv y xvi se realizaron estudios y contribuciones relevantes con abundancia de textos y tratados sobre los avances en el campo de la perspectiva, que a su vez recibió un gran impulso en el xvii debido a los trabajos llevados a cabo por matemáticos como Guidobaldo del Monte y Gérard Desargues, este último considerado fundador de la geometría proyectiva⁵.

Más adelante, en el siglo xviii, la transformación de las relaciones sociales fue determinante y de gran profundidad, y lo fue en tal medida que hizo necesario atender a las exigencias de un nuevo sistema social recurriendo a la invención de procedimientos técnicos inéditos. Se estableció entonces una relación más intensa entre ciencia, tecnología e industria, lo que llevó al nacimiento de un verdadero culto a la máquina que dio lugar a una transferencia de lo menestral al plano industrial. Ya entrado el Setecientos, la producción de imágenes relacionadas con la máquina

⁴ P. ROSSI, 1965, p. 41, citando a Erwin Panofsky.

⁵ Véase M. SILVA: «El lenguaje gráfico: inflexión y pervivencias», en M. SILVA (2004, esp. pp. 266-272, o 2008, pp. 270-276).

adquirió una finalidad particular que respondía a las exigencias que emanaban de las modificaciones en la estructura social. En esta primera fase del maquinismo los diseños mecánicos, materializados en planos y dibujos en los que se plasmaba magistralmente la técnica del lavado o la del grabado calcográfico, participaron en la comunicación de un determinado tipo de información destinado al desarrollo tecnológico y formaron las bases de una ideología de la tecnicidad. En definitiva, desde el siglo xvii, y más propiamente en el xviii, las mismas exigencias del sistema social que habían llevado a la división del trabajo se dejaron ver en los dibujos de máquinas que buscaban la descomposición en fases de los procesos artesanales de fabricación⁶.

En estos primeros intentos de racionalización de la información y como hecho innovador y de gran trascendencia —aunque con raíces en algunos teatros de máquinas renacentistas—, la compilación de los métodos analíticos y descriptivos se vinculó, en el xviii tardío, con una bipartición en las imágenes de la máquina que superponía en un mismo trabajo la figuración comparativa del todo y la especificación de las partes compositivas⁷. Se mantenía la representación escenificada propia de momentos precedentes, pero gradualmente los registros técnicos iban ganando lugar a la representación figurada del objeto y se iba incorporando al espacio gráfico disponible una definición más técnica. Comenzaba a describirse exhaustivamente las partes compositivas de los artilugios mecánicos, que a su vez se disponían de manera que narrasen el procedimiento de trabajo más rentable. Finalmente, con la progresiva llegada de la industrialización a comienzos del siglo decimonónico, las muestras antes descritas no volvieron a convivir en el mismo espacio gráfico y continuaron, a partir de aquel momento, como corrientes bien diferenciadas. Así, por un lado comenzó a gestarse la representación técnica de la máquina mediante esquemas abstractos, origen del posterior dibujo industrial, y por otro se iniciaron las manifestaciones artísticas que atendían al maquinismo como proceso social y se acercaban progresivamente hacia una ruptura total entre ambos campos, el de la técnica y el de la plástica.

⁶ En tanto que lenguaje básico de la técnica, en la introducción del volumen iii de esta colección —M. SILVA: «Lenguajes de la técnica en tiempos de revoluciones», en M. SILVA SUÁREZ (2005), pp. 14-37— se presentan unos apuntes sobre la representación gráfica en el siglo xviii. Sobre la representación de las máquinas en ese período véase nuestra monografía *Los ingenios y las máquinas* (P. ZULUETA, 2007).

⁷ Véase M. SILVA: «El lenguaje gráfico...», en M. SILVA (2004, esp. pp. 289-300, o 2008, pp. 293-304). Por ejemplo, la ilustración 7.26.1, extraída de Vittorio Zonca (1607). No obstante, la bipartición aparece previamente en otros «teatros de máquinas», como los de Agostino Ramelli (1588) o Salomón de Caus (1615), por ejemplo. En el xviii, la aludida bipartición será casi norma; se puede observar, por ejemplo, en la enciclopedia de Diderot y D'Alembert (*Encyclopédie, ou Dictionnaire raisonné des sciences, des arts et des métiers*, 1751-1772) o en la posterior de Panckoucke (*Encyclopédie méthodique*, 1783). Bartolomé de Sureda, en *Descripción de las máquinas de más general utilidad que hay en el Real Gabinete de ellas, establecido en el Buen Retiro* (1798), utilizará la bipartición incluso en descripciones bellamente coloreadas a la aguada (por ejemplo, en «La prensa de Bramah»), técnica que enseñó a Francisco de Goya.

Mientras se iba recorriendo el Ochocientos, la vertiente técnica del dibujo industrial iba germinando en las escuelas de ingenieros de nueva creación bajo los fundamentos de la geometría descriptiva y los inicios de la normalización. Ello dio lugar a la adquisición progresiva del carácter de un lenguaje gráfico propio de la ingeniería, con un creciente y gradual alejamiento de la figuración.

III

APUNTES SOBRE EL DIBUJO DE MÁQUINAS EN EL SIGLO XIX

El nuevo siglo, el de la industrialización, trajo consigo determinadas modificaciones sustanciales; el concepto de unicidad del objeto comienza a desaparecer —anteriormente se inventaba y se construía *una* máquina— y surge en la incipiente ingeniería industrial un proceso que permanecería a partir de entonces ligado a la elaboración del proyecto, que no era otro que el de la producción en serie. Consecuentemente, este hecho trajo consigo la necesidad de una normalización y una codificación a la hora de dibujar, y debido a esta y otras causas, cambió de forma radical la noción de representación gráfica. El dibujo mecánico recibió entonces un fuerte impulso y comenzó a diferenciarse del arquitectónico, pues hasta aquel momento las técnicas de representación de dibujos de máquinas y conjuntos eran similares a las utilizadas en las edificaciones. A lo largo de la centuria la esquematización se fue haciendo cada vez más presente en los planos científicos, lo cual, junto al gradual establecimiento de los nuevos métodos de reproducción de planos, hizo que con mayor o menor celeridad se fuera abandonando aquella técnica del lavado con la que se producían planos coloreados de indiscutible belleza.

El objetivo primordial de la representación gráfica siempre ha consistido en transmitir a través de determinados convencionalismos gráficos una información exacta de una realidad con un fin técnico; esta serie de acuerdos hace posible que el dibujo sustituya, anticipe o restituya una realidad. Mediante la progresiva incorporación de códigos, el dibujo de la máquina fue modificando la representación realista de épocas pasadas hacia una imagen conceptual propia ya del siglo XIX en la cual, como explica el profesor Gombrich, un complejo entramado de convenciones gráficas hace posible una lectura inequívoca con información verídica y universal de lo dibujado⁸. En las representaciones técnicas lo sustancial ha de ser la descripción correcta de lo representado y no su apariencia de realidad, y ello se consigue a través del empleo de los códigos gráficos que permiten una lectura certera de los aspectos mensurables del objeto⁹. Consecuentemente, entendida la descripción gráfica como lenguaje —el lenguaje de la técnica—, esta debería poseer una gramática normativa que

⁸ E. H. GOMBRICH, 1987, p. 163.

⁹ C. de SAN ANTONIO, 1995, p. 128.

definiera los usos correctos de dicha lengua mediante reglas o preceptos precisos y referidos, por un lado, a las claves geométricas necesarias para lograr la racionalización del espacio y, por otro, a los convencionalismos formales.

Por lo tanto, en el dibujo técnico —concebido como lenguaje utilizado en el mundo de la técnica para expresar y registrar ideas e información destinadas a la producción—, para el grafiado de los elementos compositivos de las máquinas se hizo necesaria la presencia de una importante simplificación. En una etapa inicial de la codificación el dibujo debía actuar como sistema selectivo, pues, en cualquier caso, al código se llega mediante una selección de la información, eligiendo y eliminando datos de la realidad. Así, al representar aquellos elementos mecánicos, tales como roscas, engranajes, cadenas..., cuyo perfilado resultaba extremadamente laborioso, y sustituirlos por determinadas líneas cargadas de simbolismo en función de su trazado —continuo o espaciado— o de su grosor —fino o grueso—, se hizo imprescindible evidenciar de algún modo las características propias del objeto representado, para lo cual surgió la simbología como apoyo esencial para posibilitar la lectura de los planos técnicos.

Así las cosas, se podría asegurar que el dibujo de máquinas decimonónico fue adquiriendo gradualmente las características propias de un sistema gráfico, al ir recibiendo determinados aspectos convencionales o «monosémicos» de la representación. Los dibujos de alto contenido tecnológico —como son los de ingeniería— contienen códigos estrictos que establecen relaciones biunívocas entre significante y significado por ser dibujos sistematizados con símbolos predefinidos de antemano y con un significado único¹⁰.

IV

LA NUEVA SISTEMATIZACIÓN GEOMÉTRICA

Si hacemos un recorrido por los convencionalismos geométricos esenciales encargados de la tarea de racionalizar el espacio a lo largo de la historia, nos encontramos en primer lugar ante el nacimiento de la primera codificación en los sistemas de proyección geométrica, la definida por Vitruvio en el siglo I a. C. mediante las tres *especies* de representación —*ideas*, según los griegos— la *ichnographia*, que corresponde a la planta; la *orthographia*, perteneciente al alzado geométrico de cualquiera de sus caras externas y a los cortes interiores, y la *scenographia*, que muestra el alzado óptico o «puesto en perspectiva»¹¹. La siguiente referencia escrita sobre los citados procedimientos de proyección no se encontrará hasta el Renacimiento cuando a mediados del siglo XV Leon Battista Alberti, en su tratado *De re aedificatoria*, menciona la necesidad

¹⁰ J. SAINZ, 1990, pp. 27-28.

¹¹ VITRUVIO, 1787, libro I, cap. II, p. 9.

de representar la arquitectura mediante la planta y la sección, restando importancia a la *ortographia* vitruviana. Tras la huella de este humanista, algunas décadas después, Rafael de Urbino completa las obras anteriores describiendo con todo detalle las citadas proyecciones. Dicha codificación, junto con la sistematización del uso de la perspectiva durante el Renacimiento italiano, propició que comenzaran a gestarse las imágenes técnicas del modo en el que hoy son concebidas¹².

IV.1. La geometría reglamentada por Monge

Como es bien sabido, en el lenguaje de la técnica el dibujo de máquinas decimonónico fue perfeccionando conceptos, procedimientos y normas. Gaspard Monge formuló en las postrimerías del siglo XVIII las reglas de la geometría descriptiva, *generalizando* los métodos introducidos siglos atrás por los tratadistas del Renacimiento, *recogiendo* la labor desarrollada en épocas pasadas por geómetras, técnicos y artistas y *exponiendo* de forma rigurosa los diferentes sistemas de representación de un objeto tridimensional en las dos dimensiones de un soporte. El sistema diédrico, basado en la proyección cilíndrica ortogonal, se sistematizó sobre las bases de la geometría proyectiva y pronto se fue convirtiendo en el fundamento del dibujo industrial y de los recursos gráficos utilizados por la ingeniería, hasta llegar a ser enseñanza obligada en la instrucción técnica.

Este arte tiene dos objetos principales. [...] El primero es representar con exactitud sobre los diseños de dos dimensiones los objetos que tienen tres, y que son susceptibles de una determinación rigurosa. [...] Baxo este punto de vista es una lengua necesaria al hombre de genio que concibe un proyecto, a los que deben dirigir su ejecución, y en fin a los artistas que por sí mismos deben ejecutar sus partes diferentes. [...] El segundo objeto de la geometría descriptiva es deducir de la descripción exacta de los cuerpos todo quanto se sigue necesariamente de sus formas y de sus posiciones respectivas. En este sentido es un medio de investigar la verdad¹³.

Por medio de la doble proyección ortogonal, y con apoyo de procedimientos geométricos simples pero rigurosos, un conjunto de técnicas gráficas dispersas se sintetizó entonces y se convirtió en un cuerpo de doctrina enteramente elaborado. Por sus características, el sistema diédrico proporcionaba la interpretación exacta del objeto descrito manteniendo intactas sus propiedades geométricas, como la escala —relación entre las medidas del objeto real y el objeto dibujado— o la semejanza de superficies —con permanencia formal de las figuras geométricas planas representadas—, así como la invariabilidad en las magnitudes angulares. Fue en la obra de Monge donde quedó regulada de forma científica la representación gráfica bidimensional; sus lecciones fueron publicadas en 1798 y sin hacerse esperar se implantaron en las nuevas enseñanzas técnicas.

¹² J. SAINZ, 1990, p. 112.

¹³ G. MONGE, 1996, p. VI.

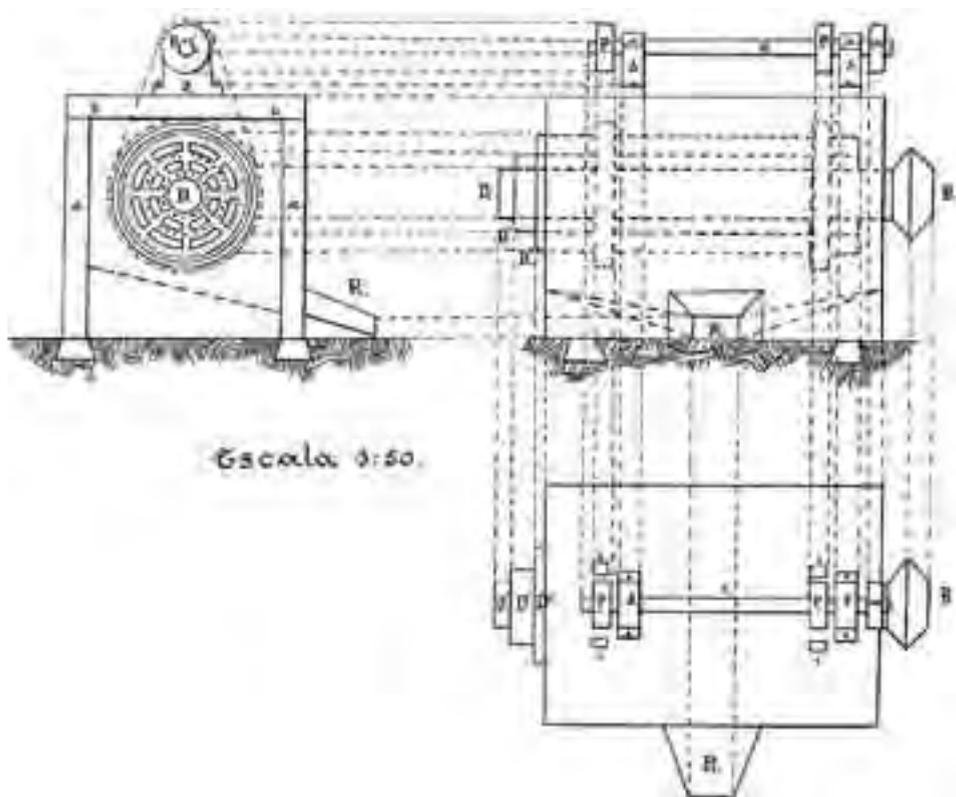
Ahora bien, aunque resulta indiscutible que dicha instrucción haya marcado el aprendizaje de una época, existen, no obstante, opiniones contrapuestas en un intento de situar este hecho en su verdadero lugar en la historia de la enseñanza técnica y sus aplicaciones. Así, ante la rotundidad de afirmaciones que aseveran que sin la geometría descriptiva la fabricación de máquinas en el siglo XIX habría sido imposible, se han alzado otras voces que nos recuerdan hechos relevantes como, por ejemplo, que Inglaterra por diversas razones no adoptara dicha instrucción y, sin embargo, haya sido considerada pionera de la Revolución Industrial. Probablemente, la diferencia radica en considerar a la geometría descriptiva como una invención producto de una necesidad, en cuyo caso, como explica el profesor Deforge, realmente hubiera sido más necesaria en períodos anteriores para la construcción de las catedrales medievales o las fortificaciones militares; o bien en contemplar dicha disciplina como una síntesis magistral de un conjunto de prácticas que de manera natural se había ido transmitiendo de generación en generación desde el nacimiento de los oficios. El mismo Monge reconocía la previa existencia de métodos gráficos que habían resultado eficaces a los artesanos de siglos pasados; por ello, donde él realmente colocaba el acento era en el carácter práctico y racional de la geometría descriptiva más que en su novedad, entendiendo que su doctrina constituía una consolidación de anteriores procedimientos gráficos dispares¹⁴.

El uso instrumental de la representación gráfica adquirió en el siglo XIX el grado de convencionalidad necesario para que únicamente quien fuera conocedor de sus reglas pudiera comprender perfectamente lo representado; los dibujos debían resultar idénticos aun habiendo sido elaborados por autores diferentes. El dibujo en general se convirtió a partir de entonces en dibujo científico poseedor de métodos gráficos convencionales¹⁵. Unido a ello, con el establecimiento del sistema métrico decimal nacido en Francia en las postrimerías del Setecientos, el carácter mensurable de la representación adquirió una condición universal a diferencia de los siglos anteriores, en los cuales se acudía frecuentemente a escalas gráficas basadas en unidades distintas para cada país o incluso para cada ciudad.

En virtud de todo este entramado teórico, las nuevas técnicas gráficas supusieron transformaciones radicales en el concepto del dibujo como disciplina útil al servicio de los nuevos proyectos industriales. Se hicieron necesarias las representaciones geometrizadas, carentes de ornamentación, científicas y acordes con los nuevos requerimientos del siglo. La Revolución Industrial y el diseño de máquinas exigían soluciones rápidas y precisas, por lo que era necesario unificar los procedimientos y convencionalismos de representación.

¹⁴ Y. DEFORGE, 1981, pp. 189-201, «Monge et les avatars de la géométrie descriptive».

¹⁵ J. SAINZ, 1990, p. 52, citando a Luigi Vagnetti, *L'architetto nella storia di Occidente*, ed. de 1984, p. 442.



4.1. Representación en sistema diédrico: Un procedimiento mecánico para limpiar minerales de hierro (AHOEPM, exp. 27013, 1900): La correspondencia entre las tres vistas principales elegidas: planta, alzado y vista lateral izquierda, se establece mediante líneas de proyección trazadas con línea discontinua. Tras analizar la disposición relativa de las vistas se aprecia la ausencia de normalización; así, la planta (vista superior) se sitúa bajo el alzado siguiendo el método de proyección del primer diedro (sistema europeo), mientras que la vista lateral izquierda—que, siguiendo el mismo criterio, debería situarse a la derecha del alzado—se dispone a su izquierda como si se tratara del sistema americano.

En España desde principios de siglo se conocía la *Geometría descriptiva*, pues su primera traducción la llevó a cabo el creador de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, Agustín de Betancourt, en 1803, cuatro años después de su publicación en Francia. Al parecer, según explica el profesor Gentil Baldrich, hubo que esperar al año 1846 para que viera la luz el primer tratado de geometría descriptiva escrito por un científico español, José Bielsa y Ciprián, que lo realizó para la Academia de Artillería de Segovia bajo el título *Tratado elemental de geometría descriptiva y sombras, para uso de los caballeros cadetes de artillería de Segovia*¹⁶.

¹⁶ M. Á. LEÓN *et al.*, 2001.

En uno de los muchos textos de la época dedicados al estudio de esta ciencia y sus aplicaciones, como es el *Atlas de Geometría descriptiva* de Baltasar Cardona y Escarrabill editado en Barcelona en 1865, podemos leer:

La ciencia del cálculo y el dibujo descriptivo forman la primera y principal base de los conocimientos indispensables á los que se dediquen ó aspiren á cualquiera de las carreras superiores, profesionales y de aplicación, creadas para intervenir en la dirección y ejecución de las construcciones y artefactos de todas clases¹⁷.

Por lo tanto, desde la sistematización de Monge la geometría descriptiva ha constituido la base teórica del dibujo técnico en casi todos los países desarrollados y ha permitido la ordenación de todos los conocimientos geométricos y su distribución para la elaboración racional de los documentos gráficos. De la observación de planos y dibujos de la época puede deducirse que todavía no se aplicaba una disposición establecida de las proyecciones ortogonales del objeto. En esta línea, una de las primeras medidas reguladoras en la representación técnica consistió en organizar el reparto de las vistas principales sobre el espacio de dibujo disponible, de modo que de la posición relativa de las mismas —alzado, planta, vistas laterales izquierda y derecha, vista posterior y vista inferior— pudiera deducirse su correspondencia sin necesidad de leyenda identificativa alguna. Dentro del sistema diédrico existen dos alternativas normalizadas para situar las vistas principales en los planos: el sistema europeo (o del primer diedro) y el sistema americano (o del tercer diedro). La elección de uno u otro dependerá de la posición relativa del objeto respecto a los planos coordenados que compartimentan el espacio.

IV.2. Las perspectivas paralelas

Siguiendo en la misma línea, en el siglo XIX se produjo otro hecho señero en lo referente a la racionalización espacial. Nos estamos refiriendo al ordenamiento de la perspectiva axonométrica. La axonometría —sistema de representación basado igualmente en la proyección cilíndrica ortogonal—, como sistema visivo que es, proporciona el desarrollo en el plano de las tres dimensiones del objeto sin por ello perder la mayor parte de sus propiedades geométricas, lo cual es un claro ejemplo de economía representativa. Sin embargo, no permite examinar todos los detalles geométricos de los cuerpos, como ocurría con el diédrico, pues dependerá en cada caso de los tres planos visualizados. Aunque desde el Renacimiento ya habían surgido perspectivas axonométricas no registradas como tales, su establecimiento como sistema de representación tridimensional se produjo en las primeras décadas del siglo XIX durante la Revolución Industrial, y desde entonces ha sido muy utilizado tanto por la sencillez de su trazado como por su capacidad de facilitar el reconocimiento de los objetos con un solo golpe de vista. Entre la obra de Monge y la de sus discípulos, que incorporaron decididamente la axonometría dentro de sus tratados sobre geometría descriptiva,

¹⁷ B. CARDONA, 1865, lib. I, p. v.

aparece la obra de un contemporáneo suyo, científico inglés y profesor de Cambridge, el reverendo William Farish (1759-1837), quien en su calidad de presidente de la Cambridge Philosophical Society expuso en unas conferencias impartidas en 1820 los fundamentos geométricos de la isometría —variedad axonométrica en la cual se representan bajo la misma escala las tres dimensiones de los objetos—. Publicadas en 1822 bajo el título «On isometrical perspective», dichas lecciones presentaban este nuevo método de proyección, que fue considerado apropiado para la representación de las máquinas. Farish concebía el sistema como un caso particular de la perspectiva lineal que surgía cuando el punto de vista se situaba en el infinito, por lo cual los rayos del cono visual —fundamento euclidiano de la perspectiva cónica— resultaban ahora paralelos y formaban un haz de rectas de vértice impropio. Fue este científico quien utilizó la isometría como sistema de representación con la finalidad de mostrar a sus alumnos los mecanismos de las máquinas de las fábricas inglesas que por su tamaño no se podían transportar; lo cual no impedía que él mismo reconociese que la representación de un mecanismo complejo a través de sus vistas ortogonales era el método más adecuado que podía utilizar el ingeniero diseñador, aun presentando el gran inconveniente de la dificultad de su lectura, apta únicamente para expertos.

Los estudios de Farish fueron continuados por el matemático Theodore Olivier y recogidos en su tratado sobre geometría descriptiva, de 1843, con el nombre de *Proyección isométrica*. Posteriormente, en 1857, el alemán Julius Ludwig Weisbach publicó un completo estudio teórico sobre el dibujo axonométrico en el cual se incluía un profundo componente matemático. Muchos otros científicos del citado siglo contribuyeron al desarrollo del nuevo sistema; entre ellos destacaron Oskar Schlömilch y Karl Pohlke. En un texto titulado *Corso teorico-pratico ed elementare di disegno axonometrico*, su autor se refiere a la figura del ingeniero Quintino Sella, profesor de Mineralogía en la Regia Scuola di Applicazione degli Ingegneri di Torino, como el artífice, a finales del año 1856, de un hecho relevante que consistió en la disociación de la parte teórica del sistema axonométrico —la relativa al cálculo trigonométrico— de la parte práctica, «deducendola cioè da semplice considerazione di geometria elementare»¹⁸, facilitando de este modo la aplicación directa al dibujo técnico.

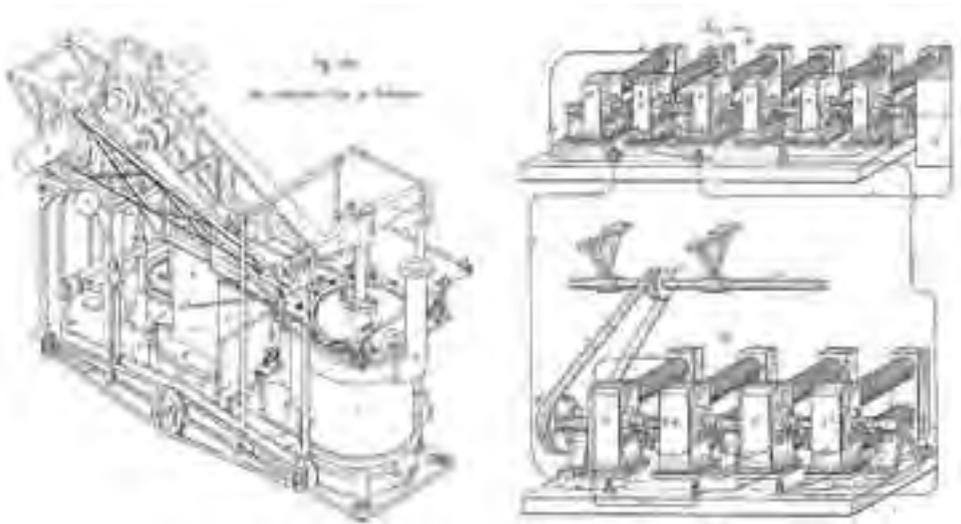
En España, el profesor de la Universidad de Madrid Eduardo Torroja Caballé publicó en 1879 un texto titulado *Axonometría o perspectiva axonométrica* en el que decía:

A las indudables ventajas que la Proyección Axonométrica ofrece sobre los demás sistemas de representación, debe atribuirse el que se haya extendido, en pocos años, su aplicación a todos los dibujos en que importa la rapidez en el trazado y la facilidad de apreciar a primera vista, con una sola proyección y sin conocimientos previos de ninguna especie, tanto la forma como las dimensiones de los objetos representados. No solo se emplea hoy en los tratados de Geometría y en los de cristalografía [...], sino que

¹⁸C. AGOSTINO, 1861, pp. 4-6.

también vemos trazadas con arreglo a sus principios las figuras que ilustran los tratados de Construcción, los de Máquinas y los de Física experimental¹⁹.

Todo parece indicar que el siglo XIX constituyó el momento en el cual se hizo posible la toma de decisiones convencionales para la organización adecuada de la representación. Este hecho consistía tanto en la elección de los planos de referencia del objeto en sí mismo —el triedro trirrectángulo adecuado a su geometría interna— como en la del plano o planos de proyección, estableciendo la posición relativa del objeto respecto a ellos. Dependiendo de la coincidencia o no de los planos de referencia con los de proyección, las figuras se mostrarán bidimensional o tridimensionalmente. Así, en el sistema diédrico la correspondencia de los planos de proyección con dos de los planos de referencia de los cuerpos representados determina que las figuras se muestren, habitualmente, en dos dimensiones. Si, por el contrario, dichos planos —los de proyección y los de referencia— no son coincidentes, como en el caso del sistema axonométrico en el que el plano del cuadro resulta ser oblicuo a todos los del triedro, la figura se presentará en tres dimensiones. No obstante, en la perspectiva paralela oblicua —caballera— el plano de proyección se identifica, al igual que en el diédrico, con alguno de los del sistema, y, sin embargo, al no tratarse de una proyección ortogonal dará lugar igualmente a una vista volumétrica.

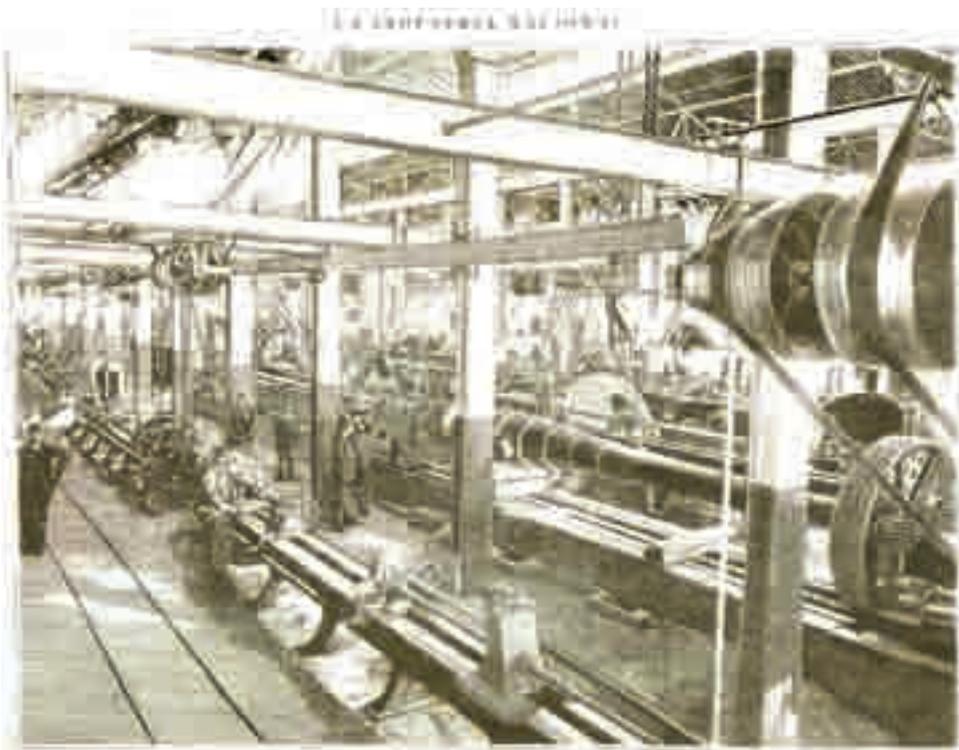


4.2. Perspectivas isométrica y caballera, ambas paralelas: 1) Máquina de paletas usada en los barcos (N. VALDÉS: Manual del ingeniero y el arquitecto, 1870. Atlas, lám. 24, fragmento); 2) Unas mejoras en máquinas magnéticas o dinamoeléctricas aplicables a generadores y a motores (AHO-EPM, exp. 01530, 1881).

¹⁹ E. TORROJA, 1879, prólogo.

La Perspectiva Fantástica o Libre (Cavalière) es una imitación de la perspectiva regular en que se supone que el cuadro es paralelo a dos de las dimensiones principales del cuerpo²⁰.

Entre los sistemas tridimensionales de representación, en el ámbito industrial propio ya del siglo XIX tuvieron mayor aplicación las perspectivas paralelas que la cónica, pues esta última, aun con menor grado de abstracción que las anteriores y con una definición aparentemente más real del objeto, presentaba un elevado grado de complejidad a la hora de restituir las medidas a la realidad. Sin embargo, la perspectiva lineal estuvo muy presente en las ilustraciones de talleres, fábricas y objetos industriales que exhibían las publicaciones periódicas propias del siglo, como *El Museo Universal* o *La Ilustración Española y Americana*, entre otras, que actuaban como crónica social de los nuevos logros.



4.3. Perspectiva lineal (de fotografía directa): *La Industria Nacional, Talleres de la fundición de cañones de los Sres. Portilla, White y Compañía, Sevilla* (*La Ilustración Española y Americana*, 22 de febrero de 1890, n.º VII, p. 117).

²⁰ A. SÁNCHEZ TIRADO, 1867, p. 19.

La denominada específicamente *perspectiva*, basada en el sistema cónico o central, vivió su época más fecunda en el período transcurrido entre su invención en el siglo xv y el siglo xix, con la elaboración de textos y tratados y la construcción de máquinas e instrumentos para el auxilio en su trazado. Siguieron vigentes en el Ocho-cientos los tratados de siglos precedentes junto a algunos de nueva creación, entre los que señalamos el tratado sobre el *Arte de la Perspectiva* publicado en Barcelona en 1840, elaborado por José Planella y Corominas, y que comienza así:

En una época en que el afán de rectificar errores, de adelantar los acontecimientos y de difundir la ilustración es tan general, mengua sería que el arte de la Perspectiva yaciese para los Españoles en abandono y entre la confusión de inexactitudes con que por desgracia varios autores le desfiguran y degradan²¹.

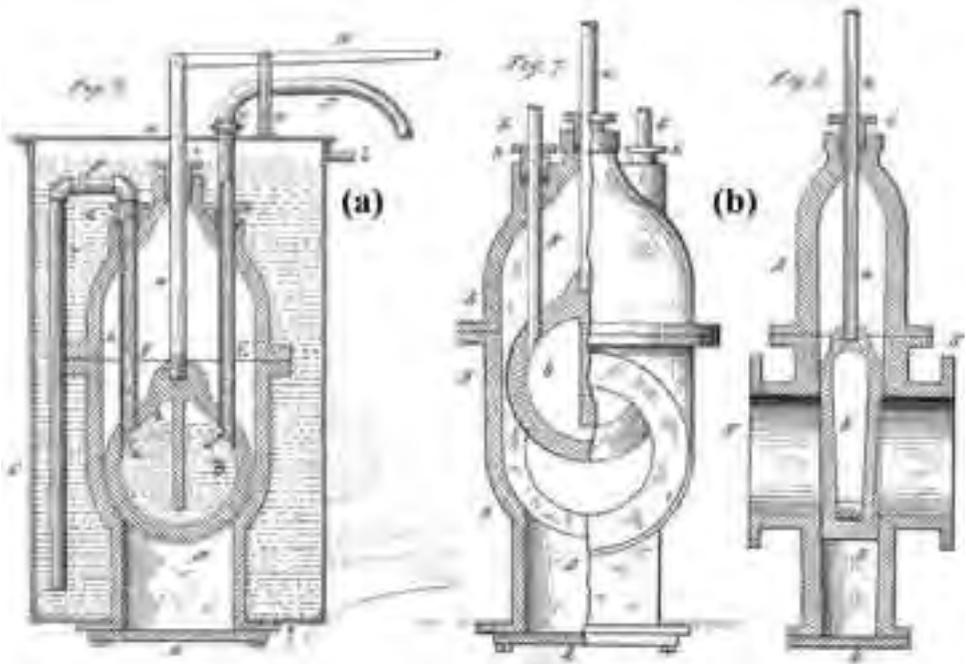
Entre los diversos artilugios inventados como elementos de apoyo para el trazado de perspectivas se encontraba la cámara oscura, muy utilizada ya en el Renacimiento, cuya capacidad para captar las imágenes era bien conocida por los artistas de la época. En un paso adelante, durante el siglo xix se alcanzó la posibilidad de fijar la imagen aprehendida por medios físico-químicos, lo cual propició que el investigador Joseph-Nicéphore Niépce fuera el primero en experimentar con uno de los logros del siglo, la fotografía. Aun siendo considerado como el recurso perspectivo más exacto, dicho invento no fue de utilidad precisa en el proceso industrial, excepto en catálogos publicitarios o patentes de invención, y se utilizó como registro complementario a la documentación técnica.

IV.3. *El uso de la sombra*

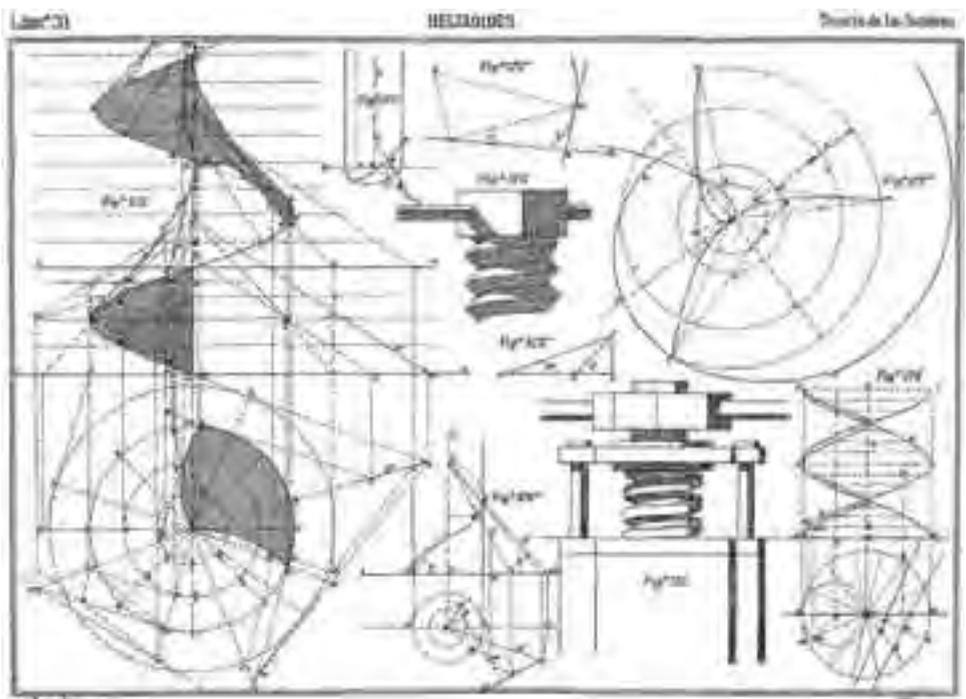
Por otra parte, en el siglo de la industrialización, como vestigio de la escenificación pictórica precedente y con la clara intención de lograr una mayor aproximación a la realidad, todavía se advertía con cierta frecuencia la presencia de la sombra como recurso ilustrativo a modo de concesión estética. En las representaciones de vistas de los objetos mecánicos era habitual la indicación de la sombra propia de los elementos geométricos compositivos; se trataba de superficies que portaban generalmente un rayado paralelo trazado para conseguir una pretendida sensación de volumen. Ciertamente, el empleo de esta práctica en ocasiones daba lugar a cierta confusión o redundancia gráfica, al mostrarse simultáneamente junto a otros recursos como podían ser el tratamiento de una textura determinada, el rayado paralelo de un plano seccionado o las líneas simbólicas que representaban un elemento mecánico.

Podemos constatar igualmente la existencia de textos y tratados sobre el trazado de sombras elaborados con un exhaustivo rigor científico. Tal es el caso de la ampliación llevada a cabo por Bernabé Brisson (1827) a partir de la obra de Monge, con una explicación del método de obtención de las sombras; el texto del arquitecto Antonio Rovira y Rabassa (1890) sobre puntos y líneas brillantes y degradación de tintas; o bien el

²¹J. PLANELLA, 1840, p. 1.



4.4. **La sombra como recurso ilustrativo:** Perfeccionamiento en los aparatos que se emplean para la fabricación de gas para el alumbrado y la calefacción (AHOEPM, exp. 04358, 1884).



4.5. **Trazado de sombras en elementos roscados** (A. ROVIRA: Teoría de las sombras, 1890).

tratado del matemático francés Alphonse Joseph Adhemar (1873) utilizado como libro de texto en las escuelas de Ingeniería españolas y en muchas de las europeas.

Simultáneamente, en las representaciones de las nuevas máquinas e inventos que acostumbraban a ilustrar las páginas de publicaciones periódicas del siglo, y en un intento aún mayor de completar el aspecto visivo de la realidad, se mostraban con cierta frecuencia los dibujos en perspectiva acompañados de la sombra que arrojaba la máquina sobre el plano de apoyo. En general no se trataba de una representación precisa, aquella basada en la proyección oblicua que formuló Monge científicamente en su *Geometría descriptiva*, sino que era una sombra de asentamiento, una pequeña sombra de anclaje colocada al pie de un cuerpo para afianzarlo en el espacio que lo contenía.

En otros casos, en un alejamiento progresivo del dibujo académico y en el camino de la conceptualización propio del dibujo técnico, se iba insinuando la sombra con la exclusiva variación de los tipos de línea, pues, como nos explica Juan José Gómez Molina,

culmina y se estabiliza una clasificación, generalizada aunque excesivamente esquemática, para diferenciar el «dibujo artístico» del «dibujo lineal» [...]. Desde entonces el llamado «dibujo lineal», de carácter geométrico, técnico o científico, va a quedar representado por la autoridad del dibujo politécnico, de línea, que llegó a proscribir el uso de los colores y las sombras [...] con la convención de prescindir del sombreado para sugerirlo exclusivamente con diferentes grosores de trazo²².

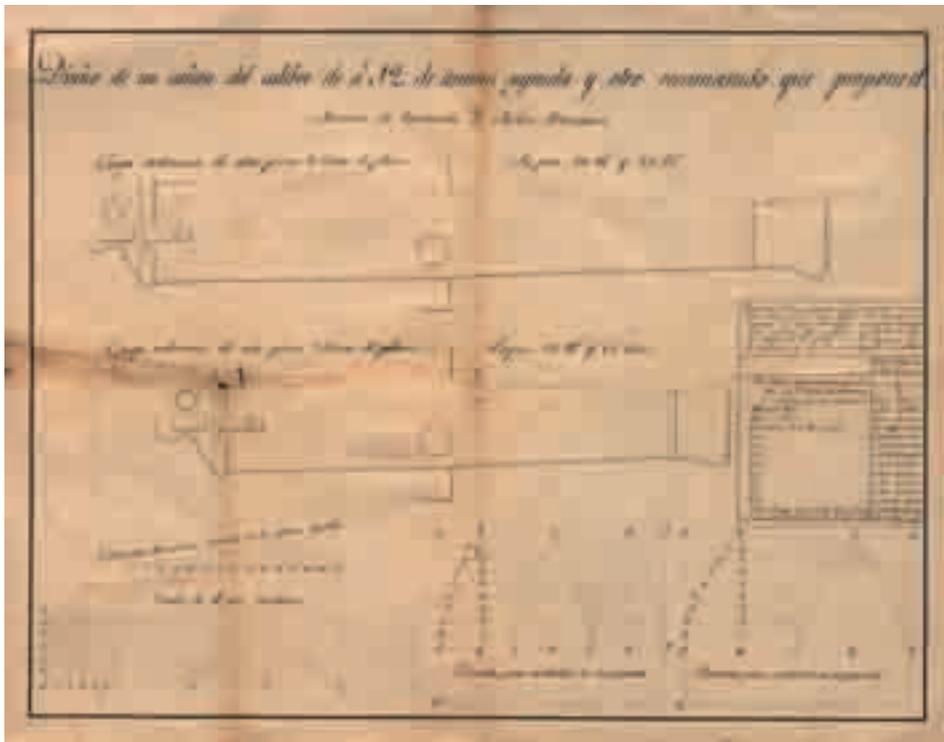
V

LA CODIFICACIÓN DE LOS ASPECTOS FORMALES

Como habíamos comentado con anterioridad, la función básica de la representación técnica no es otra que la de ofrecer una información precisa e inequívoca del objeto representado mediante su descripción gráfica. Por ello, para conseguir la imagen gráfica técnica —la adecuada para definir piezas y mecanismos—, lo verdaderamente relevante es la definición exacta del objeto, y no la apariencia de realidad, y ello se logrará gracias al trazado de dibujos normativos con el empleo de códigos gráficos. La geometría —descriptiva, métrica y proyectiva— constituye la estructura sobre la que se sustenta toda la trama representativa e interpretativa, mientras que el instrumento para lograrlo no es otro que el conjunto de normas que se acordaron a principios del xx a partir de las convenciones que se fueran estableciendo paulatinamente en épocas anteriores²³.

²² J. J. GÓMEZ MOLINA *et al.*, 2002, p. 126.

²³ C. de SAN ANTONIO, 1995, pp. 119-137.



4.6. Insinuación de la sombra mediante diferentes grosores de línea: Diseño de cañón (Andrés Manzano, 1826, ref. 0317, Museo Naval de Madrid).

V.1. La visión del interior de las máquinas

Una vez analizada la forma de representar los objetos mecánicos mediante las proyecciones basadas en la tríada de Vitruvio reguladas durante los siglos xv al xix por científicos y artistas de las diferentes épocas, se advierte que en el ámbito industrial es muy habitual que surja la necesidad de representar las aristas y los contornos ocultos para proceder a una completa definición de piezas y conjuntos mecánicos. Sin embargo, la representación de todas y cada una de estas líneas conlleva un grado elevado de complejidad a la hora de materializar e interpretar los dibujos. Para solventar este problema el recurso gráfico idóneo no es otro que el de la representación seccionada.

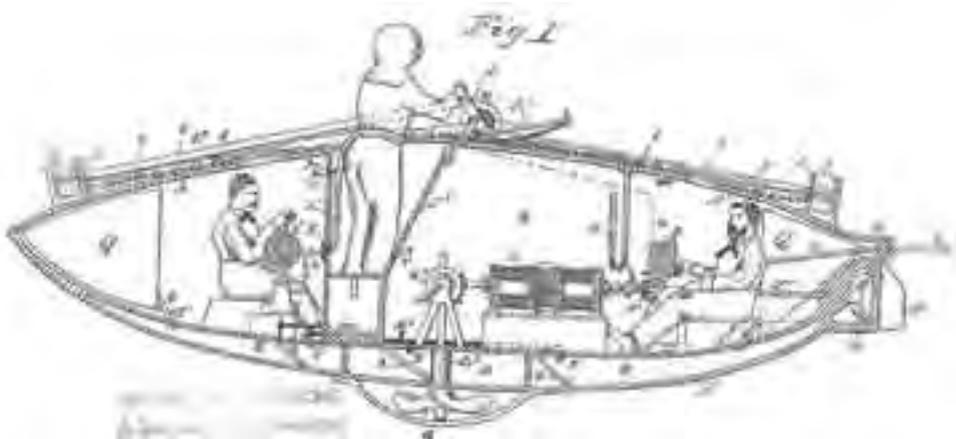
La progresiva consolidación teórica de la proyección ortogonal resultó ser el camino hacia la codificación definitiva del método de representación por excelencia, el dibujo de la planta, la elevación y el corte. En esta línea de pensamiento, el arquitecto Jean-Nicolas-Louis Durand, en sus *Lecciones de arquitectura*, publicadas en la primera década del Ochocientos, expresaba la idea fundamental del orden en la composición de los planos otorgando a la sección una categoría gráfica equivalente a la de la planta o el alzado:

Para dar una idea completa de un edificio es necesario hacer tres dibujos denominados planta, alzado y sección [...]. Se podrían hacer todos estos dibujos en hojas de papel separadas, pero se economizará mucho tiempo haciéndolos en una sola, al tener que corresponderse la mayor parte de las líneas de los tres dibujos, y pudiendo, en consecuencia, ser trazadas todas a la vez²⁴.

En planos y dibujos de máquinas del siglo XIX se aprecia un uso constante de secciones y cortes realizados con un carácter menos intuitivo y más técnico que aquellos otros de épocas pasadas, elaborados, en muchos de los casos, desmoronando las superficies externas para poder así visualizar el interior. Entre los planos consultados podemos encontrar una gran variedad de tipos de cortes y secciones de diferentes características: cortes completos; medios cortes (alzado-sección o planta-sección, *súmmum* de la economía representativa) en los que habitualmente se representa el eje central de simetría mediante una línea sinuosa fina como reminiscencia de una cierta apariencia de realidad (fig. 4.4); cortes auxiliares parciales; secciones abatidas; o cortes escenificados.

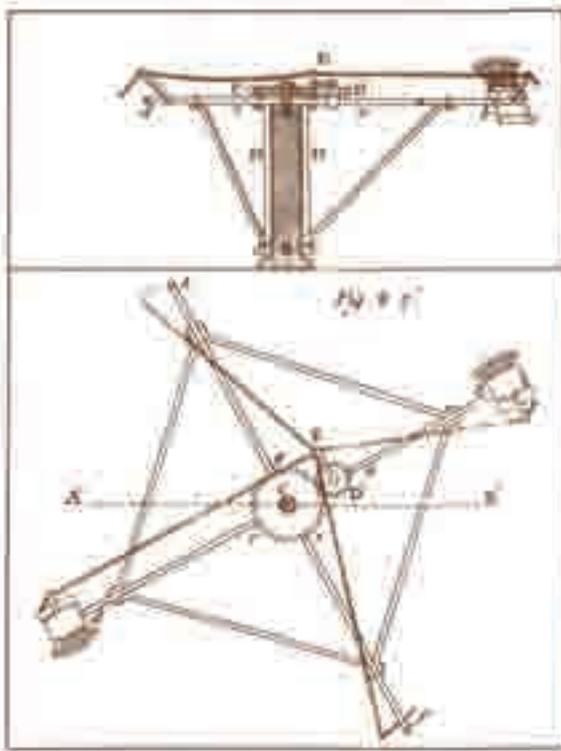
En la mayoría de los casos se aplicaban determinados convenios para hacer reconocible el tipo de vista de que se trataba, lo cual se lograba sin más que indicar la traza del plano de corte acompañada de una denominación específica mediante cifras o letras; o bien, a través de la valoración de las superficies seccionadas mediante el uso de una textura gráfica específica que consistía, generalmente, en un rayado paralelo de interlineado uniforme con un determinado ángulo de inclinación.

Asimismo, observando ejemplos en los que se muestran los objetos mediante su representación seccionada podemos apreciar, ya en aquel momento, la presencia de



4.7. Corte escenificado: Mejoras en los buques submarinos provistos de torpedos (AHO-EPM, exp. 4182, 1884).

²⁴J.-N.-L. DURAND, 1981, p. 22.



4.8. Representación mediante la planta superior y un corte según la dirección del alzado, con indicación del plano seccionador (A'B') y aplicación de rayado en la superficie seccionada: Mecanismo inventado por Marcel Pradinet que constituye un ejemplo del grupo de máquinas que permiten la combinación del movimiento circular continuo y el movimiento rectilíneo alternativo (J. M.^a de LANZ y A. de BETANCOURT: Ensayo sobre la composición de las máquinas, París, 1808).

ciertos acuerdos gráficos que fueron tipificados posteriormente, como es el caso particular de considerar libres de sección por su plano de simetría los elementos macizos de desarrollo longitudinal, como ejes, tornillos, árboles, nervios, etc.

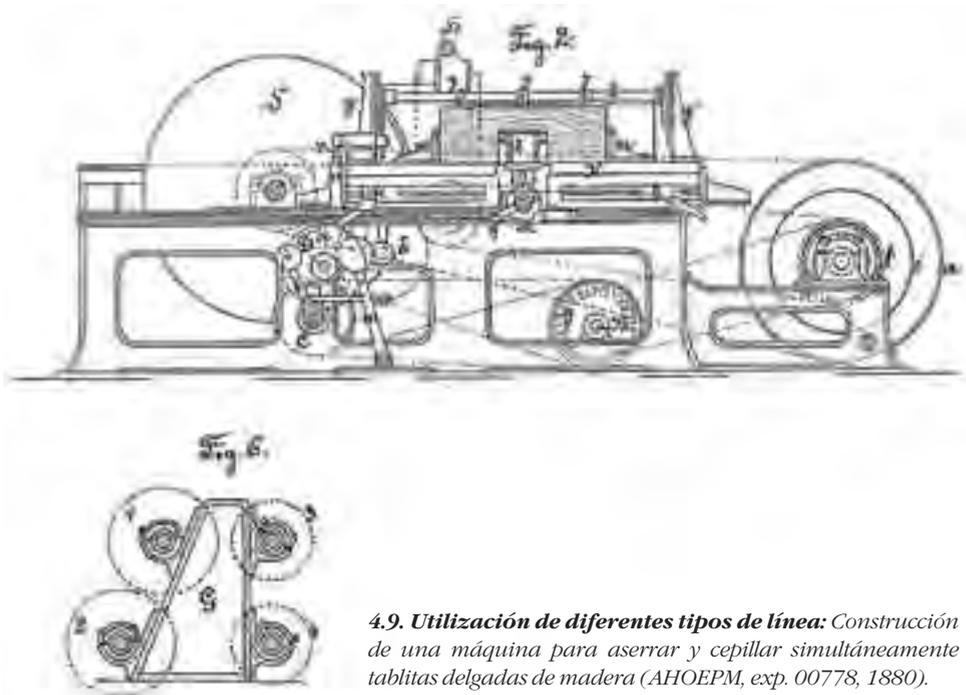
V.2. La autoridad de la línea y la utilización del color en los planos y dibujos. Las texturas gráficas

Continuando con la secuencia de recursos gráficos necesarios para la consecución de los planos técnicos en la época en estudio, analizaremos la presencia y la valoración de la línea. Su concepción, como elemento de expresión gráfica por excelencia, es posible que vaya más allá de la definición euclidiana que habitualmente se nos presenta; la línea geométrica en cuanto extensión considerada solo en su longitud adquiere en el siglo XIX un valor emergente como traza, como línea dibujada, y alcanza una nueva dimensión, su grosor, mediante el cual la materialización visible de diferentes tipos de líneas sobre el papel se convertirá en el origen y la estructura del dibujo técnico.

Con la codificación científica de los sistemas de representación, la utilización de las variables gráficas quedó sometida a determinadas leyes reguladoras que se habían de cumplir; así, y a modo de ejemplo, en el libro dedicado a la geometría descriptiva de Cardona y Escarrabill citado anteriormente, en el apartado «Convenios acerca del dibujo en descriptiva» podemos leer:

Distinguiremos tres clases de líneas en general: líneas PRINCIPALES: las de dato y resultado, líneas de CONSTRUCCIÓN: todas las rectas y curvas que se emplean para pasar por medio de ellas, de los datos al resultado; y líneas PROYECTANTES: las que solo tengan por objeto indicar la relación de las proyecciones verticales y horizontales entre sí; también se las suele llamar de «correspondencia». Las líneas proyectantes se construirán siempre en el dibujo de línea cortada muy delgadita y a trazos pequeñitos que solo tengan la longitud suficiente para distinguirse de una línea de puntos. Las de construcción se dibujarán de trazo y punto [...]. Respecto a las líneas principales vistas se construirán de línea llena, delgadita las de dato y algo más gruesecitas las de resultado. Las ocultas se dibujarán de puntos redondos²⁵.

En los planos y dibujos del siglo XIX examinados, en lo referente al trazado y la simbología de las líneas se puede apreciar que, si bien todavía no estaban establecidos los tipos y los grosores de línea que se debían utilizar, sí existía una cierta uniformidad²⁶. Se trazaban líneas continuas, finas o gruesas, para la delineación de contornos y aristas vistas; líneas generadas por un punteado fino en el dibujo de contornos y aristas ocultas; líneas de trazo y punto; las de trazo y dos o tres puntos; líneas sinuo-



4.9. Utilización de diferentes tipos de línea: Construcción de una máquina para aserrar y cepillar simultáneamente tablitas delgadas de madera (AHOEPM, exp. 00778, 1880).

²⁵ B. CARDONA, 1865, libro I, art. v.

²⁶ En la actualidad la utilización de determinados tipos de línea tiene carácter normativo y se reduce a la siguiente clasificación: línea continua, discontinua, de trazo y punto, sinuosa y de trazo y doble punto; sus grosores, fino o grueso —en relación 1:2—, están regulados por la serie geométrica de razón $\sqrt{2}$: 0,18 0,25 0,35 0,5 0,7 1 1,4 2.

sas —más o menos abruptas— para indicar roturas o vistas parciales... Todas ellas se mostraban en los planos y se delineaban utilizando las nuevas plumas metálicas: las de Mitchell y Humboldt para caligrafía o las de Perry para dibujo, en sustitución de las antiguas plumas de ave²⁷. Consultada la voz *línea* en un tratado de 1887 sobre términos artísticos, vemos que alberga diversas entradas, y de ellas nos fijamos en la definición de *línea punteada*, que dice así:

Línea formada por una serie de puntos redondos o pequeños regularmente espaciados y que sirven para indicar en un plano, bien ejes, bien líneas invisibles, bien direcciones proyectadas, etc.²⁸

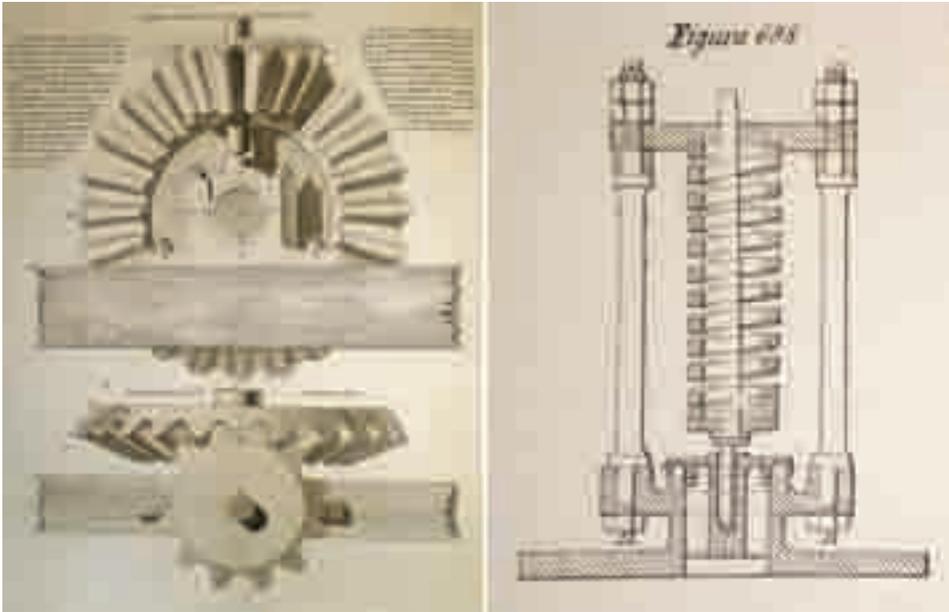
De los tipos que nombra dicho texto (*línea muerta u oculta, línea viva...*), el de *línea punteada* es el que más aplicaciones parecer tener.

Hasta bien entrado el siglo XIX no se implantaron los trazados a línea pura, ausentes de figuración, estableciéndose así con mayor claridad la frontera entre el dibujo artístico y el dibujo técnico o, más concretamente, el dibujo industrial. En cuanto al procedimiento de indicación de texturas, este no se limitaba únicamente a la imitación de la superficie real de los materiales (fig. 4.10.1) —madera, cuerda, etc.—, que progresivamente iba perdiendo presencia en los planos, sino que también se aplicaba convencionalmente en determinados casos que tal vez podríamos denominar *texturas gráficas*. Entre estos podemos citar como ejemplo los planos seccionados de diferentes piezas en la representación de un conjunto (fig. 4.10.2), la valoración de las sombras o la indicación de superficies de revolución.

Respecto a la utilización del color en los planos, tras el uso continuado y sistemático de los colorantes naturales en los planos lavados durante el siglo ilustrado y hasta bien entrado el XIX, se produjo una gran difusión de los nuevos colorantes sintéticos propios de la química industrial en expansión, tales como anilina, malveína, alizarina o fucsina, entre otros. La presencia en los planos de los nuevos esquemas geométricos, unida a la mayor premura exigida para las incipientes relaciones industriales y al abaratamiento de los costos fueron eliminando paulatinamente la idea del color ligada a la representación técnica. Sin embargo, aunque se iba evolucionando en el camino de la esquematización y del dibujo estrictamente lineal, bien es cierto que existen muestras que prueban la espléndida utilización, ya avanzado el siglo, de técnicas y métodos —como el lavado de planos— que, teóricamente, irían cayendo progresivamente en desuso. En esta línea, y a modo de ejemplo, en el año 1866 Máximo Borrell, en la tercera parte del *Tratado teórico y práctico de dibujo*, la dedicada al lavado, establecía determinados métodos prácticos para la imitación de las texturas reales de los materiales. Así, en el caso de la representación de la madera exponía la adecuada composición de tintas —carmín, azul de Prusia, tinta china,

²⁷ J. ZAPATER y J. GARCÍA, 1993, p. 35.

²⁸ J. ADELIN, 1887, p. 334.

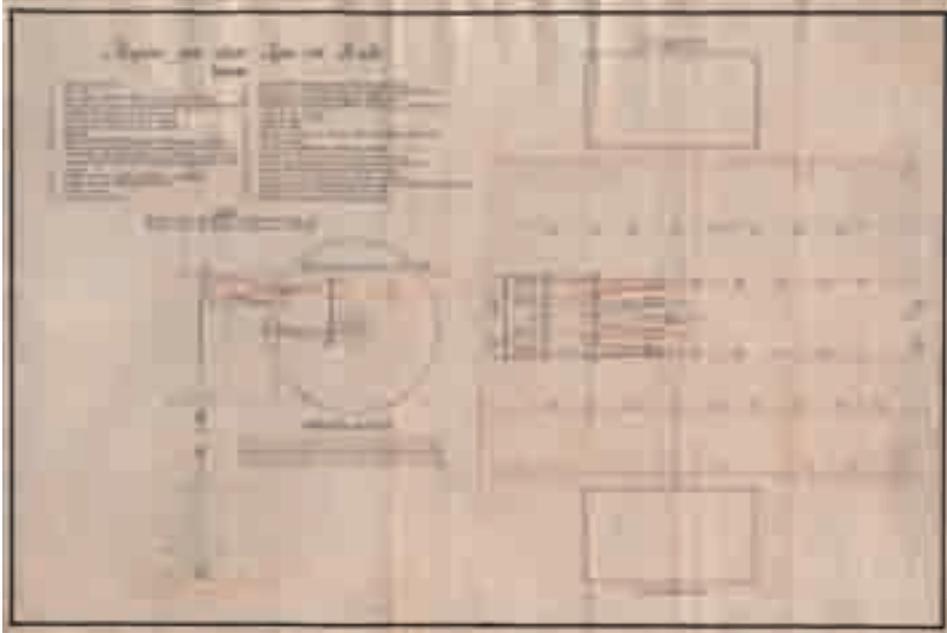


4.10. Representación realista de la textura propia del material, frente al trazado codificado de distintos rayados paralelos aplicados como textura gráfica diferenciadora de las piezas que conforman un conjunto mecánico: 1) A. LE BEALLE: Cours élémentaire théorique et pratique de dessin linéaire, 1890; 2) V. RUIZ: Lecciones de caminos de hierro, 1895.

siena— y los aditivos precisos, como la goma guta, para la correcta emulación de los diferentes tipos: pino, nogal, caoba o palo santo.

Ciertamente, se pueden encontrar tratados y colecciones de modelos de esmerada calidad elaborados con la técnica del lavado, los cuales, al parecer, influyeron decisivamente en las tendencias artísticas propias de la época —la pintura de la era industrial—, así como en los posteriores movimientos de vanguardia de comienzos del xx. Una más que evidente prueba de ello la podemos encontrar en determinadas obras de la época dadaísta del artista Francis Picabia, como *Machine tourne vite* o *Fille née sans mère*, obras de los años 1916 a 1918, con clara inspiración en algunos de los modelos recopilados por Stanislas Petit en su obra de 1870 *Le praticien industriel*.

Sin embargo, en determinados planos más esquemáticos sí se percibe la presencia del color como recurso de apoyo, no tanto para definir las propiedades cromáticas del material, sino a modo de código para el trazado de determinadas líneas con un significado preciso. Tal es el caso de la indicación de texturas, del conjunto de líneas relacionadas con la acotación —las propiamente de cota, las auxiliares de cota o las de referencia— o bien de aquellas líneas utilizadas para presentar posiciones alternativas en elementos móviles. En el plano que se muestra en la figura 4.11, se puede leer:



4.11. Utilización de líneas de diferente color como recurso codificado: *Máquina para sacar agua con rueda* (Domingo Espeliu, 1800, ref. 0131, Museo Naval de Madrid).

«Nota: Las líneas de Encarnado manifiestan la Balanza lebandada en el momento de caer, y las de Negro en el de prencipiar á lebandarla». Es una indicación precisa de un código cromático para señalar diversas posiciones de una parte de la máquina. Otros planos localizados en el mismo archivo también exhiben diferentes colores de línea, pero su significado no resulta tan evidente; puede tratarse de líneas o contornos ocultos o tal vez de reformas o actuaciones elaboradas posteriormente.

V.3. Presencia del lenguaje alfanumérico. El proceso de acotación

En un paso adelante, una vez representado y definido el objeto con la utilización de todos los sistemas y recursos gráficos, como vistas ortogonales, perspectivas, sombras, utilización del color, etc., el dibujo técnico genérico, y más aún el dibujo industrial, siempre ha necesitado el apoyo del lenguaje alfanumérico para su total expresión. El progresivo establecimiento de la representación técnica sintética estuvo vinculado a la implantación de leyendas aclaratorias del significado de los símbolos utilizados en los dibujos. Cuando los planos, mapas y dibujos eran auténticas composiciones pictóricas, las explicaciones —en ocasiones no incluidas en el plano, sino en forma de carta que lo acompañaba— se referían a las ventajas del uso del invento o al funcionamiento de los objetos representados, o tal vez servían para definir literalmente la nomenclatura de cada pieza o la denominación de las vistas componentes. En clara referencia a ello, en *Colección de signos convencionales para la*

*representación de los objetos de los planos y cartas*²⁹ se comenta la ausencia de una reglamentación específica referente a los signos y la escritura en planos y cartas. Se mencionan en sus páginas los trabajos publicados con anterioridad dedicados a este tema, entre ellos el *Tratado de castramentación* publicado por el oficial de ingenieros Vicente Ferraz en 1801, que contiene una breve *Cartilla de signos*; las *Ordenanzas del Cuerpo de Ingenieros*, de 1803; una instrucción publicada por el teniente de navío Andrés Baleato en 1826 dedicada al lineado, sombreado y lavado de planos y cartas; y por último se cita la *Cartilla de signos y letras* publicada por el Ministerio de la Gobernación en 1841. De ninguna de ellos hace alabanzas Sánchez Osorio, quien aboga por un intento de normalización con el propósito de formalizar un sistema de signos que recogiera lo necesario para constituir la escritura auxiliar de los planos técnicos³⁰.

En el capítulo XII de dicho texto, el dedicado a la «Escritura», el autor comienza exponiendo lo siguiente:

Nada sería tan embarazoso ni tan complicado en las aplicaciones como el querer dar reglas fijas para dirigir la escritura de los planos y cartas, en todos los casos particulares que puedan ocurrir, pues necesariamente debería hacerse depender entonces la escritura, no solo de las escalas, sino también de la relación de importancia de los objetos en el sentido al que se hubiesen subordinado en el plano o carta, y hasta de su forma o dibujo; naciendo aquí multitud de combinaciones que solo conducirían, con las restricciones que envolvieran, a servir de embarazo y confusión en las aplicaciones³¹.

En este mismo capítulo se establece que, con el fin de evitar tantas y tan variadas clases de letras como se usan en las cartas y conseguir uniformar completamente el dibujo, solo se deberían admitir tres clases de letra: «Mayúscula romana, Minúscula idem o Romanilla y Bastardilla». En cuanto a los tamaños de la letra, y ante la diversidad de escalas utilizadas en los planos, comentaba el autor la dificultad de organizar todos los casos posibles, pero aun así apuntaba la posibilidad de establecer una clasificación genérica para conseguir un cierto equilibrio dimensional.

Por otra parte, en el texto de Zapater³², en el capítulo IV, «Del dibujo y escritura a pluma», se señalan algunas reglas generales para la rotulación en las litografías. Realiza el autor un breve recorrido por las diferentes clases de escritura, entre las que cita la *escritura inglesa*, la *redondilla* —señalada como escritura francesa—, la *itálica* —«graciosa y elegante y parecida a la española»—, la *gótica*, la *quebrada* y la *española*, y fija exhaustivamente y con precisión las medidas y relaciones proporcionales que deben existir en cada letra y las distancias entre ellas.

²⁹ A. SÁNCHEZ, F. de ALBEAR y Á. RODRÍGUEZ, 1849.

³⁰ *Ibíd.*, pp. v-vii.

³¹ *Ibíd.*, p. 30.

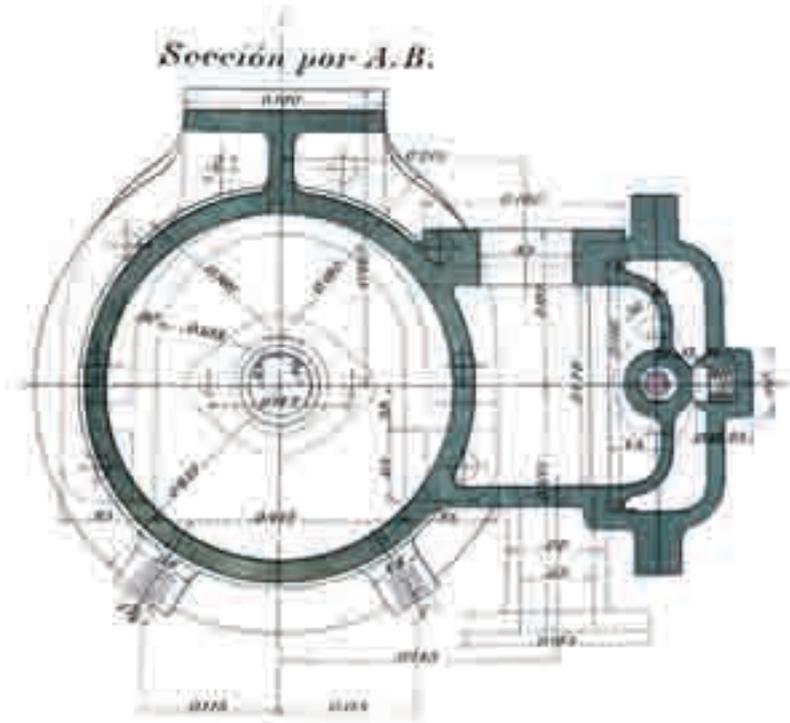
³² J. ZAPATER y J. GARCÍA, 1993, pp. 53-67.

Como decíamos anteriormente, los dibujos asociados a descripciones escritas sobre ellos permiten, en general, superar los posibles problemas derivados de la ambigüedad o falta de claridad en su lectura. No obstante, un dibujo realizado con precisión debería proporcionar el conocimiento exacto de cada objeto representado en cuanto a sus dimensiones, materiales, acabados, relaciones entre las diferentes partes y, en particular en lo relativo a su funcionamiento. Mediante los sistemas de representación pueden darse a conocer todos los pormenores acerca de la configuración geométrica de una determinada pieza, e incluso, si se hace constar la escala —codificación dimensional por excelencia—, se conseguiría deducir sus dimensiones reales. No obstante, en este caso nunca estaríamos libres de aquellos errores que, de forma accidental, se hubieran producido en el trazado o en la reproducción del plano. Ello, unido al emergente simbolismo gráfico, hizo imprescindible la determinación y la inscripción de las medidas de los objetos, la denominada *acotación* del dibujo técnico, que, sin embargo, no se encontraba presente de manera sistemática en los planos y dibujos de ingeniería de la época. Cabe pensar que al irse generalizando el uso de las máquinas-herramientas, y con ellas los nuevos procesos productivos propios de la industrialización, se hiciera necesario cierto rigor en la definición de las piezas compositivas de las máquinas, y no únicamente desde el punto de vista geométrico, sino desde la tendencia a una acotación con criterios funcionales, de manera que se fuese indicando el procedimiento de fabricación del objeto, el acabado superficial requerido o las tolerancias de fabricación, alejándose gradualmente del modelo artesanal de épocas pasadas.

En cuanto a las recomendaciones sobre notaciones numéricas presentes en los planos, mencionaremos de nuevo el texto de Sánchez Osorio, en el que nos recuerda que «los números se sujetarán en lo posible a las bases análogas a las establecidas para la letra».

Tras la consulta de planos de la época, podemos observar que el proceso de acotación, aun haciéndose cada vez más complejo, no presenta, en general, criterios unificados en cuanto a los tipos de línea o la posición relativa de la cifra de cota. Sin embargo, en determinados aspectos sí que se advierte la presencia de ciertos convenios; quizá el más repetitivo es aquel que se producía cuando la línea de cota se trazaba con un tipo de línea fina continua, trazo y punto o dos puntos, o mediante un punteado fino; y, para evitar que diera lugar a confusión con otros significados posibles —contorno, aristas ocultas, etc.— se delineaba con tinta roja, al igual que la cifra de cota. Así pues, tras examinar diferentes dibujos y planos acotados, se advierte que el conjunto de líneas que formaba parte del proceso de acotación presentaba la más amplia variedad de tipos y combinaciones, los cuales serían regulados posteriormente en el proceso de normalización que comenzó a legitimarse a principios del siglo xx.

En lo referente a la regulación de escalas, desde principios del siglo xviii se habían elaborado diversas ordenanzas relativas a la utilización de escalas y unidades en los planos. Citaremos, por ejemplo, las primeras Ordenanzas del Cuerpo de Ingenieros, dictadas por Felipe V en 1718; las disposiciones establecidas por el conde de



4.12. Acotaciones: Del plano «Bombas de circulación principal. Motores y sus detalles». Pertenece al álbum litografiado *La Maquinista Terrestre y Marítima*, Barcelona. Planos de las Máquinas del Buque de Combate Emperador Carlos V, 1896 (Fons Històric de Ciència i Tecnologia de la ETSEI de Barcelona). De 15.000 CV de tiro normal y 18.500 con tiro forzado, el conjunto constituye la máquina de vapor de mayor potencia construida en España en el siglo XIX. (Litografía de M. Martí Campañá; fot.: MSS).

Aranda en 1757 con el fin de esclarecer y organizar el uso, desordenado entonces, de una u otra escala gráfica; o bien las Nuevas Ordenanzas del Real Cuerpo de Ingenieros, de 1803. Recordaremos asimismo que en España se adoptó el metro como unidad de longitud en 1849 y que por Real Orden de 9 de diciembre de 1852 se publicaron las equivalencias entre las antiguas pesas y medidas del sistema tradicional castellano —al que se adaptaban las antiguas escalas— y las nuevas unidades métricas, aunque el sistema métrico decimal no se implantó obligatoriamente en nuestro país hasta bien entrado el siglo, en 1880.

V.4. Representación de elementos mecánicos: de la esquematización a la normalización

Durante la época ilustrada, la representación gráfica de los elementos de máquinas, llevada a cabo de manera hiperrealista, evidenciaba todas y cada una de las características geométricas y funcionales de los citados objetos. Resulta obligado recordar los dibujos de Agustín de Betancourt en la *Descripción del establecimiento de*

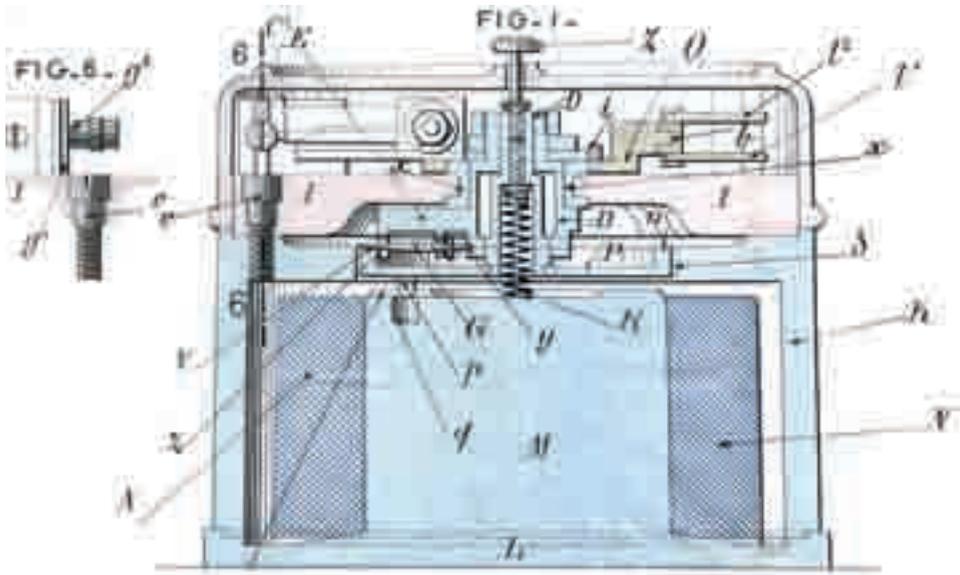
*Yndrid*³³, donde, sin premura, sin escatimar en detalles y con una contundente utilización del color se realizaba una descripción exhaustiva y precisa de ruedas dentadas, poleas, roscas, etc. Tras este período, sobrevino la etapa de los cambios en la concepción de la industria y en los procesos productivos, y es entonces cuando, en sentido opuesto a lo figurativo y ante lo extremadamente laborioso que resultaba la definición realista de estos objetos, comenzó a hacerse necesaria una simplificación gráfica sustancial, aquella que mediante sencillos trazados cargados de simbolismo, y con el apoyo imprescindible de la acotación, proporcionase una definición inequívoca de las características propias de los elementos mecánicos. Es ese momento de la representación en el cual, junto a ejemplos de exhaustiva descripción gráfica técnica de las partes compositivas de las máquinas, comienza a germinar la notación simbólica y esquemática propia del dibujo como artificio gráfico. Será más adelante, ya en el siglo xx, cuando la síntesis llegue a tal estadio que no sea necesario representar gráficamente en los planos apenas ninguno de los citados elementos, pues con una especificación cifrada referida a las normas en vigor ya quedarán totalmente definidos.

Pues bien, en el Ochocientos continúa la andadura hacia la abstracción en la descripción y la definición de los componentes mecánicos, aquellos que ya mencionaba uno tras otro Leonardo da Vinci en los *Códices Madrid* y que compilaron Lanz y Betancourt en los umbrales del siglo en el renombrado *Essai sur la composition des machines*³⁴. Aquellos elementos que, en torno a 1870, presentaron en sus textos y tratados autores como el ingeniero alemán Franz Reuleaux, que definía la máquina como «una combinación de partes resistentes, cada una de las cuales se especializa en una función y todas operan bajo el control humano, para utilizar la energía y realizar trabajos».

Antes del nacimiento de la ciencia asentada en los nuevos postulados geométricos, la forma de la máquina, entendida como el acoplamiento de sus piezas componentes, no era sino el resultado de la copia de otras máquinas existentes, de la imitación del mundo animal o incluso de la creación de máquinas nuevas con elementos de otras más antiguas. Sin embargo, a partir de las teorías mongianas la forma tendrá relación con su destino tecnológico. Como ejemplo relevante de los progresos en la precisión y la normalización que se introdujeron en la fabricación de máquinas herramientas durante el siglo xix se encuentran los trabajos del ingeniero mecánico británico Joseph Whitworth, quien en 1840 ideó un conjunto universal de especificaciones para el ángulo y el paso de las roscas de las tuercas y tornillos cuya adopción ha llegado hasta nuestros días. Si nos fijamos en la representación de algunos de estos elementos que aparece en los planos y en los tratados, podemos apreciar que al ir avanzando la centuria se va implantado dicha esquematización; así, los citados ele-

³³ Véase, por ejemplo, la fig. 0.12 del volumen III de esta colección (M. SILVA, 2006, p. 30).

³⁴ J. M.ª de LANZ y A. de BETANCOURT, 1996. Sobre su contexto, véase, por ejemplo, J. I. CUADRADO IGLESIAS y M. CECCARELLI: «El nacimiento de la teoría de máquinas y Betancourt», en el volumen III de esta colección (M. SILVA, 2006, pp. 131-181).

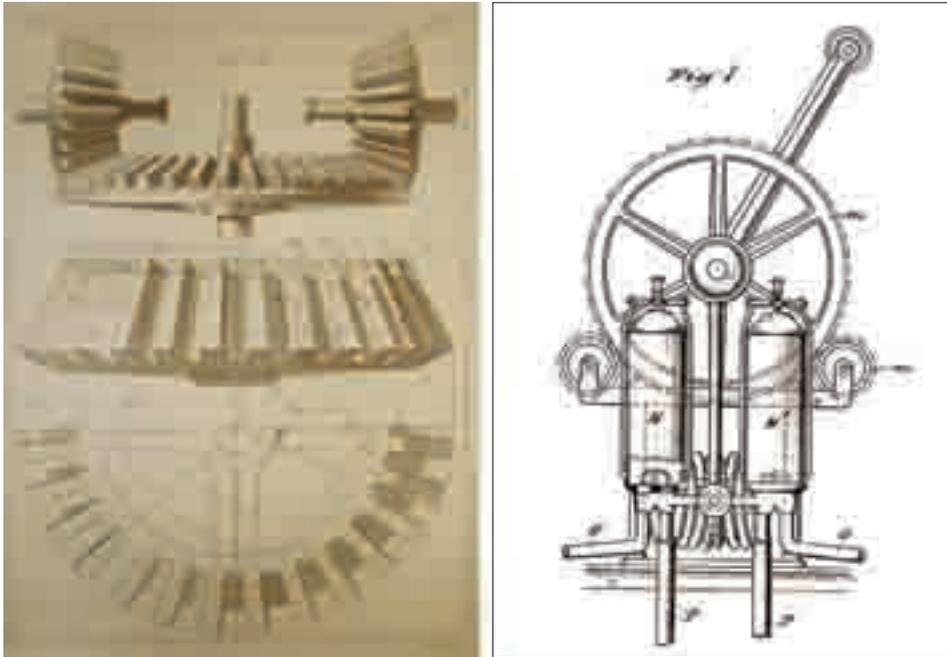


4.13. Evolución en la representación de elementos roscados: Un sistema de corta-circuito electromagnético automático denominado interruptor bipolar volta (AHOEPM, exp. 20040, 1896).

mentos roscados van abandonando progresivamente la determinación geométrica de la curva helicoidal y del perfil específico —triangular, redondo, cuadrado...— y en los planos de final de siglo se advierte ya una grafía más acorde con la especificación normalizada actual.

Asimismo, entre los elementos transmisores de movimiento, en particular del movimiento de giro, como ejes y árboles, ya se comentó en su momento la existencia del convenio gráfico según el cual no debían ser definidos mediante cortes longitudinales, salvo en aquellos casos en los que hubiera alguna singularidad en su interior que fuera necesario reseñar. Otros mecanismos, como los que producen una transformación de la velocidad angular, y de ellos los engranajes, los cilíndricos de ejes paralelos o los cónicos de ejes concurrentes, o tal vez de ejes que se cruzan como el tornillo sin fin y corona, van dejando atrás el perfilado de cada uno de sus dientes, rectos o helicoidales, hasta llegar a la máxima simplificación al ser sustituidos por circunferencias tangentes y envolventes mediante los tipos de línea estipulados. La representación del resto de elementos mecánicos participó también del proceso de esquematización de modo que todos ellos fueron mostrándose de manera ordenada en los planos y dibujos de despiece presentes, específicamente, en los atlas de los tratados más relevantes de divulgación científica.

Por último, no estaría de más reseñar un hecho importante que afectó de forma global al desarrollo industrial del siglo, y es el nacimiento de los llamados *números normales* o *números preferentes* ideados por el ingeniero militar francés del siglo XIX



4.14. Realismo vs codificación: 1) M. BORRELL, Tratado teórico y práctico de dibujo..., 1866; 2) Un aparato para ordeñar vacas (AHOEPM, exp. 13.424, 1892).

Charles Renard. Se trataba de valores convencionalmente ajustados de los términos de series geométricas compuestas de potencia del número 10 y que se designan abreviadamente con la letra R seguida de los índices de la raíz de cada serie (5, 10, 20, 40 y 80). El establecimiento de estos números en el proceso industrial constituyó un hecho fundamental en el citado siglo, pues la intención de aplicar dimensiones constructivas normalizadas favoreció, además de la intercambiabilidad, la reducción al mínimo del número de herramientas, dispositivos y calibres para la elección en las máquinas y aparatos industriales.

VI

LAS TÉCNICAS GRÁFICAS Y LOS MEDIOS MATERIALES

En cuanto al conjunto de técnicas de que se valían los científicos para representar sus proyectos o elaborar aquellos tratados de tanta presencia en el siglo, junto al dibujo propiamente de línea o a aquel acompañado del color, ya mencionados, concurrían determinadas técnicas con las cuales se hacía posible la obtención de una imagen impresa y repetible mediante una matriz entintada. Como bien es sabido, mientras que el Setecientos español fue un siglo eminentemente calcográfico, el XIX resultó

ser el siglo de la litografía. Esta última era una técnica —origen de procedimientos muy utilizados actualmente de reproducción y edición— que presentaba métodos adecuados, rápidos y de bajo coste para multiplicar originales. Para hacernos una idea somera del proceso a seguir acudiremos a la explicación que ofrece el *Diccionario del dibujo y la estampa* de la Calcografía Nacional³⁵.

El soporte sobre el que interviene el artista litógrafo en este procedimiento es una piedra calcárea, porosa, que tiene la capacidad de absorber tanto la grasa como el agua. Sirviéndose de un lápiz o de tinta de composición grasa, el artista efectúa un dibujo sobre la piedra una vez que su superficie ha sido convenientemente pulimentada y graneada o bruñida. La tinta o el polvo de lápiz grasos penetran en los poros de la piedra que coinciden con la zona dibujada. Si la superficie de la piedra se moja, el agua penetrará en los poros libres y será expulsada de los ocupados por la tinta debido al rechazo natural que existe entre el agua y la grasa. Por su naturaleza, el agua y la grasa se repelen, no se mezclan. Mediante un procedimiento químico conocido con el nombre de acidulación, se aplica sobre la piedra una capa de ácido nítrico mezclada con goma arábiga que permite fijar la zona dibujada y limpiar de grasa los poros de la zona libre, haciéndola más receptiva al agua. Para estampar el dibujo de la piedra basta humedecer esta y a continuación pasar un rodillo empapado en tinta grasa. La tinta solo penetrará en los poros ocupados anteriormente por el dibujo y será repelida de los poros donde esté el agua. La estampación litográfica es plana ya que la tinta se deposita en la superficie de la piedra, superficie que no ha sido rebajada en las zonas blancas ni tampoco incidida con instrumento alguno. El mismo proceso puede ser aplicado sobre otros tipos de soportes, en particular planchas metálicas de cinc —cincografía— o aluminio —algrafía—.

El descubrimiento de la litografía se debe al inventor alemán Alois Senefelder, quien en 1796 obtuvo las primeras estampas. Las posibles variedades que esta técnica comprende son el *grabado litográfico* y el *dibujo autográfico*, consistente, este último, en la transposición a la piedra de textos o dibujos trazados previamente en papel autográfico. Resultó ser de gran utilidad en materias científicas y se llevó a cabo principalmente para la reproducción de facsímiles³⁶.

Respecto al impacto que produjo esta técnica en España, tal y como nos explica Jesusa Vega³⁷, la litografía revolucionó las técnicas gráficas conocidas hasta el momento en nuestro país, lo cual se debió principalmente a su facilidad para la repetición de originales. Tras un período de formación en Múnich, los nombres de Carlos Gimbernat y Bartolomé Sureda, en primer lugar, y el de José María Cardano, algunos años después, figuraron entre los pioneros en la utilización de la litografía en España. La intención de Gimbernat, vicedirector del Real Gabinete de Historia Natural, era la de instalar en España un taller en el que utilizar la nueva técnica como medio

³⁵ J. BLAS *et al.*, 1996, p. 123-124

³⁶ C. LIDÓN, 2005, p. 249.

³⁷ J. VEGA, 2000, pp. 171-196.

de reproducción científica; como resultado y con Cardano al frente de la dirección se inauguró en Madrid, en 1818, el primer establecimiento litográfico de España, creado para la gestión y el tratamiento de mapas, cartas y planos. Fue el mismo Cardano quien mostró a Francisco de Goya la nueva técnica³⁸, al igual que había hecho Sureda con aquellas otras de grabado en cobre que el artista aragonés utilizó magistralmente en la elaboración de sus *Caprichos*. A este taller madrileño le siguieron otros, como el fundado ese mismo año por el editor Antonio Brusi en Barcelona o la imprenta litográfica instalada en Tolosa en 1821.

Una vez conocidas las técnicas y los recursos gráficos empleados se hará un repaso de los medios físicos con los que se contaba para materializar las ideas. Entre ellos cabe citar el papel, las tintas y determinados instrumentos de medición y de dibujo.

Tras el empleo generalizado durante el siglo XVIII de los papeles de trapos, opacos y de alto gramaje, llegaron a nuestro país, ya entrado el XIX, algunas creaciones extranjeras que trajeron consigo importantes novedades en la producción de papel. Uno de estos inventos, el de la primera máquina continua —máquina Fourdrinier o de tabla plana— establecida tardíamente en España, entre 1836 y 1840, constituyó junto a la introducción del proceso de trituración de madera —sustituta del trapo— para fabricar pulpa, uno de los mayores acontecimientos que se produjeron en la industria papelera. Además de los papeles opacos se utilizaban otros que por ser transparentes resultaban adecuados para calcar los dibujos; nos referimos al papel serpenteado, el papel vegetal, el de aceite, el barnizado o el papel tela. Su fabricación tuvo gran importancia hasta que surgieron con ímpetu los nuevos procedimientos de reproducción de planos, como aquel en el que se utilizaba el denominado *papel al ferro-prusiato* o *papel Marion*, el cual prestó muy útiles servicios a ingenieros y arquitectos proporcionando planos de aquel característico color azul³⁹.

En el tratado del siglo XIX *Vocabulario de términos de arte*, ya citado anteriormente, podemos encontrar la definición y los usos recomendados de varios tipos de papeles y sus formatos habituales: *gran águila*, 1,03 × 1,6 m; *gran mundo*, 1,94 × 1,87 m; *gran palomar*... Señala asimismo el citado texto que el papel en rollo, dióptrico, blanco o de grano, que medía habitualmente 10 m de longitud por 1,10 o 1,50 de ancho, era utilizado para los dibujos de arquitectura y de máquinas⁴⁰.

En lo referente al uso de las tintas, hasta finales del siglo XVIII los impresores preparaban las tintas para su propio consumo a partir de componentes naturales; fue a comienzos del nuevo siglo cuando se inició la primera fabricación industrial en un molino situado en las cercanías de París. La introducción del procedimiento litográfico constituyó un nuevo impulso para la formulación de las tintas, que se adecuaron a un sistema de impresión basado en el rechazo materia grasa y agua. Fue a partir del

³⁸ A. BONET, 1991, pp. 76-77.

³⁹ I. GONZÁLEZ TASCÓN, 1992, pp. 66-70.

⁴⁰ J. ADELINÉ, 1887, pp. 401-402.

descubrimiento de la anilina en 1826 cuando se desarrollaron nuevas composiciones de tinta de naturaleza no grasa por disolución de colorantes sintéticos en alcohol, como la tinta de alizarina y la de vanadio.

En cuanto al conocimiento y manejo de los instrumentos de dibujo y medición, con la creación de las escuelas técnicas a lo largo del siglo se publicaron numerosos textos relativos a la delineación; así, en alguno de ellos podemos leer lo siguiente:

Los instrumentos más indispensables para la delineación son: un tablero, un juego de reglas, un estuche o compás de piezas, lápiz, tinta de China, un platillo, cola de boca, una esponja y goma elástica⁴¹.

El tablero, generalmente era de pino; las reglas y plantillas, de madera de peral, de metal o de vidrio; el lápiz, de grafito o de mina de plomo, mejorado por Conté en 1790 con la elaboración de un conglomerado de polvo de grafito y arcilla, era denominado *lapicero de madera o lápiz compuesto*; el carboncillo, obtenido mediante la combustión lenta de bastoncillos de madera que con el aditivo de goma arábica prolongaba su duración; las reglas paralelas para el trazado de las líneas del mismo nombre, un ejemplo de las cuales se encuentra representado en la plancha número 1, figuras D1 y E1 del texto de Lanz y Betancourt *Ensayo sobre la composición de las máquinas*. Las imágenes F1 y G1 de la misma litografía muestran instrumentos destinados igualmente a asegurar el desplazamiento de una línea conservando su paralelismo⁴²; estas últimas no reflejan pequeños instrumentos presentes en los estuches de matemáticas, sino determinados aparatos para utilizar en aplicaciones industriales y que a la vista parecen antecedentes directos de las actuales reglas deslizantes. Con la misma intención, para el correcto trazado de líneas paralelas, se utilizaba con frecuencia una regla llamada *mutilla*, la cual poseía en uno de sus extremos una especie de apoyo que se deslizaba a lo largo del tablero y permitía el trazado en todas las direcciones.

Igualmente, haciendo referencia a los instrumentos de dibujo necesarios para el trazado de perspectivas axonométricas, en un texto de 1867 citado con anterioridad podemos leer lo siguiente:

La perspectiva isométrica se emplea principalmente para la representación de los productos de la industria, en los cuales ocurre con frecuencia tener que dibujar engranajes y círculos [...]. Para el trazado de las elipses isométricas se hace uso de un instrumento llamado elipsógrafo que es una especie de compás elíptico [...]. Para hacer más sencillo el dibujo de los engranajes, se han construido «transportadores isométricos», análogos a los transportadores circulares. El transportador isométrico es una semielipse, cuyos ejes son entre sí $\sqrt{3}:1$ y cuyas dimensiones corresponden a grados o medios grados del círculo de que ella es proyección. En esta elipse están trazados los dos semidiámetros conjugados iguales, que corresponden a las direcciones de las dos aristas isométricas de su plano⁴³.

⁴¹ L. PEREDA, 1869, pp. 5-7.

⁴² J. M. de LANZ y A. de BETANCOURT, 1996, pp. 22-23.

⁴³ A. SÁNCHEZ TIRADO, 1867, p. 19.

En una reflexión sobre la conveniencia o no de la utilización de las máquinas e instrumentos de dibujo, Gaspard Monge abogaba por una descripción científica de los objetos auxiliada por la geometría y por la precisión de los artilugios de obtención de imágenes:

necesitamos en primer lugar dirigir la educación nacional hacia el conocimiento de los objetos que exigen exactitud, lo que hasta nuestros días se ha descuidado en un todo, y acostumbrar las manos de nuestros artistas al manejo de todo género de instrumentos que enseñan a trabajar con precisión⁴⁴.

En la historia de las máquinas e instrumentos de dibujo, desde que en época renacentista Alberti en su tratado *De pictura* mostrara un método práctico de su invención —el velo— para ejecutar la perspectiva lineal, surgieron muchos otros artefactos de la relación entre el arte y la tecnología que durante siglos han auxiliado al artista en la consecución de sus obras. Desde su aparición, y basados igualmente en el concepto de sección del cono visual de Euclides, fueron surgiendo otros aparatos destinados a facilitar los trazados perspectivos; entre ellos recordamos el cristal —o la ventana— de Leonardo da Vinci, el porticón —o portillo— de Alberto Durero, todo tipo de compases de las diferentes épocas, el perspectógrafo de Jacopo Barozzi da Vignola, la escuadra inventada por Ludovico Cardi —llamado *Cigoli*—, los pantógrafos de Christopher Scheiner y Johann Heinrich Lambert o el optógrafo de Jesse Ramsden. Sin embargo, una de las máquinas más influyentes a lo largo de la historia fue la cámara oscura, con antecedentes desde el siglo x y que había encontrado su punto álgido en el Renacimiento. Durante el xix, y como evolución de la anterior, un nuevo instrumento —la cámara lúcida— constituyó uno de los hitos más importantes dentro de la historia de las máquinas de dibujar. Inventado y patentado por el físico William Hyde Wollaston en 1804, este artilugio basaba su funcionamiento en la reflexión sobre un prisma de vidrio de forma que la imagen reflejada en un papel pudiera ser recorrida en sus líneas y contornos. Tras el invento de Wollaston se fueron sucediendo otros instrumentos derivados de aquel, como las cámaras lúcidas de Abbe y Amici, el prisma de dibujo de Nacet, el instrumento de dibujo de Abraham o el espejo gráfico de Alexander⁴⁵. Por otra parte, una nueva variante de la cámara lúcida, la cámara clara universal, presentaba la posibilidad de efectuar dibujos invertidos, aplicación que resultaba una gran ventaja sobre el resto de las máquinas para la elaboración de los grabados tradicionales.

En cuanto a los aparatos empleados en la técnica litográfica destacaremos todos aquellos que se muestran en la única ilustración presente en el *Manual de litografía* de Zapater y que son, entre otros, el compás de bomba y de reducción, el aparato de Loire —para ampliación y reducción de todas clases—, el tiralíneas, las reglas, las

⁴⁴ G. MONGE, 1996, pp. v-vi.

⁴⁵ J. J. GÓMEZ MOLINA *et al.*, 2002, p. 341.

escuadras y plantillas de curvas de peral, una piedra cándida para afilar, la escala proporcional, la cuadrícula, el diágrafo y el pantógrafo⁴⁶.

En referencia a este último aparato, el pantógrafo, en un texto dedicado exclusivamente a sus características y uso se especifica cómo «este instrumento sirve para facilitar la reducción o ampliación de un dibujo cualquiera y para determinar el valor superficial del área de plano comprendida por una línea cerrada»⁴⁷.

Ya para finalizar quedaría por recordar de nuevo, junto a los grandes inventos del siglo, un hecho incomparable del que fue testigo el Ochocientos: el nacimiento de la fotografía. Partiendo de la herencia renacentista —la cámara oscura, la perspectiva monocular y la óptica— la fotografía como *nueva técnica* y la cámara fotográfica como *instrumento* produjeron un nuevo tipo de imágenes con gran presencia a partir de entonces en toda clase de publicaciones. En una línea aparentemente innovadora, el teórico y crítico de arte británico John Ruskin (1819-1900) recomendaba, en una exposición carente de prejuicios, el uso del método del cristal —el «vidrio» de Leonardo— junto a la fotografía como registro de apoyo con la intención de superar las dificultades del dibujo en perspectiva, auténtica obsesión para aquellos tratadistas que desde su invención en el Renacimiento no renunciaron a representar de forma científica la realidad tal y como se mostraba ante sus ojos⁴⁸. Curiosamente, se trataba del mismo Ruskin que ante la inclusión de la imagen mecanomórfica en la pintura del siglo XIX querría «lavar a la humanidad de la mancha del paisaje industrial»⁴⁹.

VII

CONSIDERACIONES FINALES

En el largo camino recorrido por la representación gráfica de la máquina a lo largo de los siglos como sujeto activo de la tecnicidad, deteniéndose a reflexionar en las diferentes épocas, canonizando principios de uso intuitivo y elevándolos a categoría de preceptos o reglas, o bien articulando los cambios como cuerpos de doctrina indispensables en la evolución tecnológica, parece evidente que el dibujo de máquinas ha ostentado una posición preponderante dentro del complejo entramado del maquinismo. No cabe pensar en los avances industriales del siglo XIX sin la aplicación de la geometría descriptiva a la ciencia de las máquinas, unificando los criterios a la hora de plasmar en un plano los logros del siglo; y tampoco cabe pensar en cómo habría de estructurarse a su vez dicha disciplina sin la base previa de la geometría métrica y la geometría proyectiva.

⁴⁶ J. ZAPATER y J. GARCÍA, 1993, pp. 63-65.

⁴⁷ E. GUALLART, 1895.

⁴⁸ L. CABEZAS, 1992, pp. 104-105.

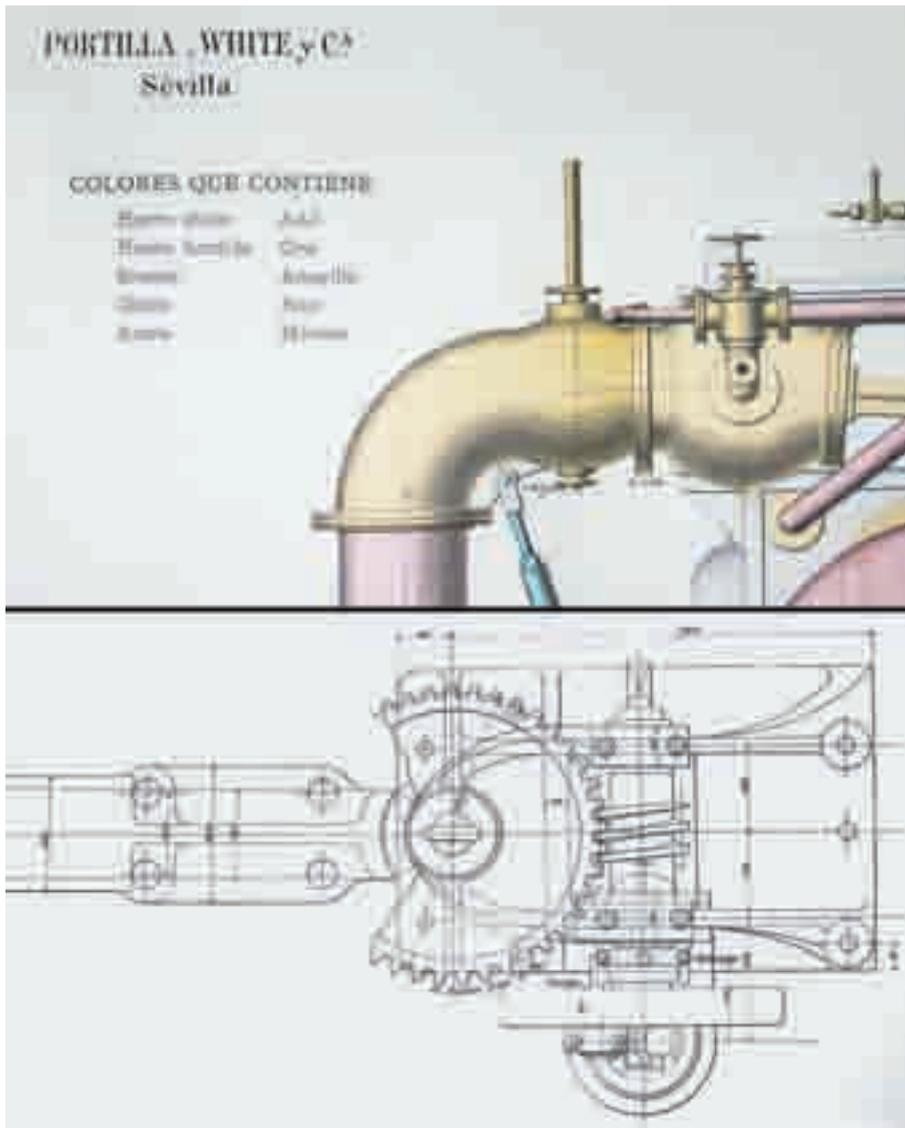
⁴⁹ M. LE BOT, 1979, p. 82.

Hasta el XVIII la representación de las máquinas había sido en gran parte escenificada, englobada en el mundo de la figuración. Es en ese siglo cuando irrumpen sistemáticamente los registros técnicos dentro del espacio gráfico, el mismo que hasta ese momento ocupaba principalmente el acontecer artesanal; la fábrica o el taller se mostraban como un teatro en el que se representaba la actividad. Es a partir del XIX cuando comienzan a distanciarse definitivamente la representación técnica sintética de la representación artística, la destinada a los museos y la que ilustraba las publicaciones nacidas como crónica de la actualidad presentes en el citado siglo: *El Museo Universal*, *La Ilustración Española y Americana*, etc.

El dibujo de máquinas va más allá del campo meramente descriptivo del objeto, pues posee de alguna manera una intencionalidad dentro del proceso productivo. Y, debido a ello, a esa intencionalidad, el escalón adecuado para su estudio probablemente sea el del *Análisis iconográfico*, aquel que requiere un conocimiento previo de las fuentes y una familiaridad con temas y conceptos específicos. Según explica Erwin Panofsky en *El significado en las artes visuales* e intentando trasladarlo al campo de nuestro estudio, estableceremos el siguiente ejemplo: ante un plano de una máquina del siglo XIX, en un nivel primario, el de una *descripción preiconográfica*, tal vez la única definición posible sería la de un *dibujo técnico* o quizá un *dibujo técnico mecánico*; mientras que en el nivel de un *análisis iconográfico*, tras la observación del grado de codificación geométrica alcanzado, las convenciones formales y el tipo de técnica gráfica utilizada, se podría afirmar con total seguridad que se trata de la representación técnica de una máquina de la época de la industrialización. Asimismo, mediante el análisis de los elementos descritos en dicho plano podrá averiguarse de qué tipo de máquina se trata, y el saberlo permitirá establecer relaciones con el progreso tecnológico propio de la Revolución Industrial. Probablemente, el avance al siguiente nivel, el de una *interpretación iconológica* o, como lo expresa Panofsky, una *iconografía interpretativa* no resultaría factible en nuestro caso, pues en virtud de los adjetivos *técnico* y *codificado*, propios del dibujo industrial se eliminan, de alguna manera, los componentes de subjetividad, irracionalidad e intuición, inherentes a la *iconología* como método de interpretación que procede más de la síntesis que del análisis.

Sin embargo, la posibilidad de establecer un análisis iconográfico correcto no es tan evidente como pudiera parecer en un principio, y ello es debido a que en dicho momento del dibujo de máquinas los códigos gráficos no estaban plenamente articulados. Mientras que en los trazados de los científicos ilustrados resultaban incuestionables todos y cada uno de los elementos presentes en la representación técnica, generalmente hiperrealista, en el nuevo siglo, a través del proceso de selección y filtrado del dibujo ya comentados con anterioridad, el reconocimiento de los motivos puede adquirir varios significados, las líneas no tienen todavía una única definición, los códigos de color aún no son homogéneos, etc.

El siglo XIX ha asistido a una importante reducción figurativa de la representación técnica con el consiguiente aumento de la operatividad. Como señala el profesor Uría,



4.15. Apretada síntesis de la evolución en el dibujo de la máquina en el Ochocientos: Representaciones posiblemente condicionadas por el cliente, la Marina, en el primer supuesto se parte de una figuración cercana a la llevada a cabo durante el siglo ilustrado. Dotado de un cierto carácter artístico y temprana codificación, se trata de un dibujo provisto de códigos cromáticos identificadores del material y sombras constituidas, según las indicaciones de Monge, mediante el trazado de las líneas de curvatura propias de cada superficie. Progresivamente se llega a alcanzar una representación lineal, técnica, acorde con el siglo de la industrialización y caracterizada por el abandono progresivo de la figuración, como antesala del lenguaje gráfico normalizado propio de la ingeniería industrial.

1) Detalle de un plano con el código de colores en el atlas con las Máquinas y calderas de 1.500 caballos con destino a los cruceros de 3.ª clase Isabel II y D. Antonio Ulloa, realizadas por Portilla, White y Cía., Sevilla (motorización contratada en septiembre de 1885); 2) Piezas del cambio de marchas del Atlas de máquinas y calderas de triple expansión de 9.400 caballos indicados con tiro natural y 13.700 con tiro forzado del crucero Vizcaya, Astilleros del Nervión, Bilbao, 1894, 2v. Ambos álbumes (de similares características) fueron litografiados e impresos por Auto. Imp. L. Curtier, París. (Biblioteca de la ETSI Navales, UPM).

en esa posición central que ocupa el dibujo entre la imitación y la abstracción, el exceso figurativo da lugar a una seducción gráfica no apoyada, en muchos de los casos, en una verdadera información.

Los aspectos artísticos ya no volvieron a convivir en la representación con los aspectos técnicos y funcionales. En cuanto a los primeros, «este es, pues, el nuevo programa estético: que los paisajistas descubran nuevos lugares míticos para la leyenda de la industria, que hagan el inventario de los nuevos objetos que los pueblan: las máquinas; en fin que el pintor represente los nuevos demiurgos, héroes o condenados de la epopeya moderna»⁵⁰. Por otra parte, los registros técnicos continuaron su evolución para culminar en la racionalización de las primeras décadas del siglo xx. Mediante este hecho, que dio en llamarse *normalización gráfica*, todos aquellos preceptos canónicos que se fueron asentando a lo largo de las centurias precedentes después de un prolongado uso intuitivo, se estructuraron entonces con la clara intención de simplificar los trazados y dar valor universal a su interpretación, y todo ello con miras a reducir costos y favorecer la intercambiabilidad en la industria.

BIBLIOGRAFÍA

- ADELIN, J.: *Vocabulario de términos de arte*, traducido y aumentado con más de 600 voces y anotado por José Ramón Mélida, Madrid, La Ilustración Española y Americana, 1887.
- ADHÉMAR, J. A.: *Traité de géométrie descriptive*, París, Armand Colin & Cie., 1873.
- *Cours de mathématiques à l'usage des architectes, ingénieurs civils, etc. Applications de géométrie descriptive: ombres*, París, Armand Colin & Cie., 1874.
- AGOSTINO, C.: *Corso teorico-pratico ed elementare di disegno axonometrico applicato specialmente alle macchine: ad uso delle scuole di disegno universistarie degli istituti tecnici e degli operai, per l'ingegnere Cavallero Agostino*, Turín, Tipografia Letteraria, 1861.
- APARICI Y PUIG, R.: *Lecciones de geometría descriptiva*, Madrid, Gutenberg, 1884, 2 vols.
- ARMENGAUD, C.: *Cours de dessin linéaire appliqué au dessin des machines, dédié aux écoles industrielles*, París, Librairie Scientifique-Industrielle de L. Mathias, 1840.
- ARMENGAUD, J. E.: *Nouveau cours raisonné de dessin industriel*, París, Librairie Scientifique-Industrielle de L. Mathias, 1848, 2 vols.
- BATAILLE, E. M., y C. E. JULIEN: *Traité des machines à vapeur*, atlas, París, Librairie Scientifique-Industrielle de L. Mathias, 1847-1849.
- Betancourt: los inicios de la ingeniería moderna en Europa*, catálogo de exposición, Madrid, Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1996.

⁵⁰ *Ibíd.*, p. 78.

- BLAS, J. (COORD.), A. CIRUELOS y C. BARRENA: *Diccionario del dibujo y la estampa: vocabulario y tesoro sobre las artes del dibujo, grabado, litografía y serigrafía*, Madrid, RABASF, Calcografía Nacional, 1996.
- BOIX, F.: «La litografía y sus orígenes en España», discurso leído en la RABASF el día 8 de noviembre de 1925 (contesta Luis Menéndez Pidal), Madrid, *Arte Español, Revista de la Sociedad Española de Amigos del Arte*, n.º 8 (1925), pp. 279-320.
- BONET CORREA, A.: «Origen de la litografía en España», Madrid, *Boletín de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando*, n.º 73 (2.º semestre de 1991), pp. 73-77.
- F. MIRANDA y S. LORENZO: *La polémica ingenieros-arquitectos en España, siglo XIX*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos / Turner, 1985.
- BORRELL, M.: *Tratado teórico y práctico de dibujo con aplicación a las artes y a la industria*, Madrid, Imprenta y Estereotipia de M. Rivadeneyra, 1866, 3 vols..
- CABEZAS, L.: «La revolución del arte del dibujo», en *El dibujo: belleza, razón, orden y arteificio*, Zaragoza, DPZ / Fundación Mapfre Vida, 1992, pp. 113-114.
- CARDONA y ESCARRABILL, B.: *Atlas de geometría descriptiva y de sus principales aplicaciones al dibujo de proyectos, sombras, perspectiva, cortes de piedra y de madera, de hierro, etc.*, Barcelona, Establ. Tipogr. de Jaime Jepús, 1865.
- DEFORGE, Y.: *Le graphisme technique, son histoire et son enseignement*, Seyssel, Champ Vallon, 1981.
- DUPIN, C.: *Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes: curso normal para el uso de los artistas y menestrales, y de los maestros y veedores de los talleres y fábricas. Explicado en el Conservatorio Real de Artes y Oficios por [...], miembro del Instituto, oficial superior del Cuerpo de Ingenieros de Marina, oficial de la Legión de Honor y caballero de San Luis. Traducido al castellano de orden del rey nuestro señor por don Juan López Peñalver de la Torre, del consejo de S. M. y su secretario honorario*, tomo I: Contiene la geometría. Texto y 8 láminas, Madrid, Impr. de José del Collado, 1830; tomo II: Contiene la mecánica. Texto y 8 láminas, Madrid, Impr. de los Herederos de Collado, 1835.
- DURAND, J.-N.-L.: *Compendio de lecciones de arquitectura: parte gráfica de los cursos de arquitectura, siglo XIX*, Madrid, Pronaos, 1981.
- FARISH, W.: «On isometrical perspective», *Transactions of Cambridge Philosophical Society*, vol. I, Cambridge University Press, 1822, pp. 1-20.
- GOMBRICH, E. H.: *La imagen y el ojo, nuevos estudios sobre la psicología de la representación pictórica*, Madrid, Alianza, 1987.
- GÓMEZ MOLINA, J. J., et al.: *Máquinas y herramientas de dibujo*, Madrid, Cátedra, 2002.
- GONZÁLEZ TASCÓN, I.: *Ingeniería española en ultramar (siglos XVI-XIX)*, Madrid, CEHOPU / CEDEX / MOPT / Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1992.
- GUALLART ELÍAS, E.: *Pantógrafo-planímetro*, Madrid, Ricardo Rojas, 1895.
- HENRY, J. B. des V.: *Elementos de dibujo lineal: geometría y agrimensura: dispuestos para todos los sistemas de enseñanza, revisados por Thenot*, Madrid, Vda. de Poupart, 1863, 5.ª ed.

- IRIARTE, C. de: *Topografía fotográfica, o sea aplicación de la fotografía al levantamiento de planos*, Madrid, Tipolitografía Raoul Péant, 1899.
- LANZ, J. M.^a de, y A. de BETANCOURT: *Ensayo sobre la composición de las máquinas*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1996, ed. facs. de la 1.^a ed. francesa de 1808, ed. facs. de la 1.^a ed. inglesa de 1820, trad. española.
- LE BEALLE, A.: *Cours élémentaire théorique et pratique de dessin linéaire lavis et ornement*, París, Imprimerie et Libraire Classiques de Jules Delalain, 1890.
- LE BLANC: *Choix de modèles appliqués à l'enseignement du dessin des machines*, París, Malher et Cie., 1830.
- LE BOT, M.: *Pintura y maquinismo*, Madrid, Cátedra, 1979.
- LEÓN CASAS, M. Á., J. C. de SAN ANTONIO, V. P. ALDAYA y C. LEÓN: «El sistema de planos acotados: introducción, evolución y su difusión en España», en *Actas del XIII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Badajoz, 2001.
- LEROY, C. F. A.: *Traité de géométrie descriptive, suivi de la méthode des plans cotés et de la théorie des engrenages cylindriques et coniques*, París, Mallet-Bachelier, 1855, 2 vols.
- LIDÓN, C.: *La litografía industrial en el norte de España de 1800 a 1950: aspectos históricos, estéticos y técnicos*, Gijón, Trea, 2005.
- Máquinas*, catálogo de exposición, Centro Atlántico de Arte Moderno, Las Palmas de Gran Canaria / Palma, Fundación «La Caixa» / Ediciones del Umbral, 2000.
- MONGE, G.: *Geometría descriptiva*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1996, ed. facs.
- NIETO-GALÁN, A.: *La seducción de la máquina. Santponç, Monturiol, Isaac Peral: vapores, submarinos e inventores*, Madrid, Nivola, 2001.
- Origen de la litografía en España: el Real Establecimiento Litográfico*, catálogo de exposición, Madrid, Fábrica Nacional de Moneda y Timbre, 1990.
- PANOFSKY, E.: *El significado en las artes visuales*, Madrid, Alianza, 1983a, 3.^a ed.
— *La perspectiva como forma simbólica*, Barcelona, Tusquets, 1983b, 4.^a ed.
- PARDO CANALÍS, E.: *El Real Establecimiento Litográfico*, Madrid, Ayuntamiento, 1973.
- PEREDA Y LÓPEZ, L.: *Tratado elemental de delineación, perspectiva y sombras*, Madrid, Imp. J. E. Morete, 1869, 2.^a ed.
- PERRAULT, C.: *Compendio de los diez libros de arquitectura de Vitruvio. Escrito en francés por [...]. Traducido al castellano por don Joseph Castañeda*, Madrid, Impr. de Gabriel Ramírez, 1761.
- PETTIT, S.: *Le praticien industriel: recueil de nouveaux modèles élémentaires de dessin au lavis à plusieurs couleurs appliqués à la mécanique et à la construction*, París, Monrocq frères, 1870.
- PLANELLA Y COROMINA, J.: *Exposición completa y elemental del arte de la perspectiva y aplicación de ella al palco escénico, por [...], pintor escénico, individuo de la sociedad de fomento de la ilustración y de la del liceo filarmónico-dramático barcelo-*

- nés de S. M. D.^a Isabel II. *Texto y 100 láminas*, Barcelona, Impr. de Joaquín Verdguer, 1840.
- REBOLLEDO, J.: *Construcción general, por [...], ingeniero jefe y profesor de la Escuela de Caminos, Canales y Puertos*, Madrid, Impr. y Fundación de J. A. García, 1875.
- REMOLAR, E.: *Ensayo sobre el pantógrafo: instrumento utilísimo a los dibujantes, grabadores, litógrafos, pintores, ingenieros y demás artistas para copiar*, Madrid, Imprenta de Palacios, 1834.
- RIGALT, L.: *Álbum enciclopédico-pintoresco de los industriales*, Murcia, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 1984.
- ROSSI, P.: *Los filósofos y las máquinas, 1400-1700*, Barcelona, Labor, 1965.
- ROVIRA, A.: *Teoría de las sombras, puntos y líneas brillantes y degradación de tintas*, Barcelona, Impr. de la Casa Provincial de Caridad, 1890.
- RUIZ, V.: *Lecciones de caminos de hierro*, atlas, Madrid, Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1895.
- SAINZ, J.: *El dibujo de arquitectura: teoría e historia de un lenguaje gráfico*, Madrid, Nerea, 1990; Madrid, Reverté, 2005, ed. corr. y aum.
- SAN ANTONIO, C. de.: «La representación gráfica: historiografía y contemporaneidad de un concepto», en *Actas del VII Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Pontevedra, Diputación, 1995, t. II.
- SÁNCHEZ OSORIO, A., F. de ALBEAR y Á. RODRÍGUEZ ARROQUÍA: *Colección de signos convencionales para la representación de los objetos en los planos y cartas*, Madrid, Imprenta Nacional, 1849.
- SÁNCHEZ TIRADO, A.: *Perspectiva axonométrica, isométrica y fantástica o libre (cavalier)*, ms., 1867.
- SILVA SUÁREZ, M. (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, vol. I: *El Renacimiento*, 2004 (2.^a ed., revisada y aumentada, *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular*, 2008); vol. II: *El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación*, 2005; vol. III: *El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal*, 2005; vol. IV: *El Ochocientos. Pensamiento, profesiones y sociedad*, 2007; vol. V: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, 2007.
- TORROJA Y CABALLÉ, E.: *Axonometría o perspectiva axonométrica: sistema general de representación geométrica que comprende, como casos particulares, la perspectiva caballera y militar, la proyección isográfica y otros varios*, Madrid, Imprenta de Fortanet, 1879.
- URÍA, L.: «Reflexiones sobre el dibujo “no asistido”», en *El taller del arquitecto: dibujos e instrumentos. Salamanca, 1871-1948*, Salamanca, Caja Duero / Colegio Oficial de Arquitectos de León-Delegación de Salamanca, 2001.
- VALDÉS, N.: *Manual del ingeniero y arquitecto: resumen de la mayor parte de los conocimientos elementales y de aplicación en las profesiones del ingeniero y arquitecto, comprendiendo multitud de tablas, fórmulas y datos prácticos para toda clase de construcciones, y por separado un atlas de 133 láminas, por el coronel retirado*

- de ingenieros [...], miembro corresponsal de la Academia de Ciencias de Madrid*, Madrid, Impr. de Gabriel Alhambra, 1870, 2.^a ed.
- VEGA, J.: «Bartolomé Sureda y las técnicas gráficas», en *Bartolomé Sureda (1769-1851): arte e industria en la Ilustración tardía*, Isabel Tuda, Eva Corrales y José Sierra, (eds.): Madrid, Museo Municipal, 2000.
- VIGREUX, Ch.: *Art de l'ingénieur. Projet de locomotives, applications de la partie didactique: études d'une locomotive compound à grande vitesse, à voie normale (1 m, 44) et d'une locomotive-tender pour travaux publics ou chemins de fer d'intérêt local à voie de 1 mètre, en collaboration avec M. Ch. Milandre, ingénieur civil*, París, E. Bernard & Cie., 1898.
- VILLANUEVA, I.: *Curso de dibujo industrial o lecciones dadas en la enseñanza de la delineación aplicada a las artes y a las máquinas en el Conservatorio de Artes de Madrid*, 2 vols., Madrid, ed. D. Julián Viana Razola, 1841.
- *Curso de dibujo industrial o lecciones dadas en la enseñanza de la delineación aplicada a las artes y a las máquinas en el Real Instituto Industrial de Madrid*, Madrid, Impr. de la Compañía de Impresores y Libreros del Reino, 1854.
- VITRUVIO POLIÓN, M.: *Los diez libros de arquitectura. Traducidos del latín y comentados por don Joseph Ortiz y Sanz*, Madrid, Imprenta Real, 1787.
- WARREN, E.: *A manual of drafting instruments and operations*, Nueva York, J. Wiley, 1865.
- ZAPATER Y JAREÑO, J., y J. GARCÍA ALCARAZ: *Manual de litografía*, Barcelona, Labor, 1993, ed. facs. de la de Cairel Ediciones, 1878.
- ZULUETA, P.: *Los ingenios y las máquinas: representación gráfica en el período ilustrado en España*, Valladolid, Universidad / Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla y León Este-Demarcación de Valladolid, 2007.

Debates sobre el papel de las matemáticas en la formación de los ingenieros civiles

Guillermo Lusa Monforte
Universitat Politècnica de Catalunya

Para los ingenieros del Renacimiento y de la Ilustración, las matemáticas son una poderosa herramienta práctica y conceptual, cuyo progreso corre paralelo al de las realizaciones de la ingeniería. No se plantea contradicción alguna entre el instrumento y quien lo utiliza: la naturaleza está escrita en caracteres matemáticos y quienes proyectan la transformación y el dominio de esa naturaleza impulsan también el progreso de las matemáticas¹.

En el siglo XIX², sin embargo, aparecerá algún elemento de discordia en esa relación hasta entonces aproblemática, al consolidarse la diferenciación entre la actividad de los *científicos* (neologismo que nacerá precisamente en esa centuria) y los ingenieros. Nace el científico profesional o «científico puro», cuya actividad teórica no tiene por qué tener ya aspiraciones de aplicabilidad. Pero esto no significará, en modo alguno, que los ingenieros dejen libre el campo de la ciencia para los «científicos puros». Como ha señalado Manuel Silva³, «si en el Setecientos el peso mayoritario de la renovación científica hispana recae sobre cuerpos militares, en el Ochocientos gravita en gran parte sobre la ingeniería civil». Recuérdese, a título de ejemplo significativo, que en la composición inicial de la máxima institución científica del país —la Aca-

¹ Las relaciones entre ciencia e ingeniería, así como el papel desempeñado por las matemáticas en la articulación del discurso de la técnica, han sido tratados en volúmenes anteriores de esta colección. En M. SILVA SUÁREZ (ed.), vol. II, 2005, pp. 18-26 y 117-124; y M. SILVA SUÁREZ (ed.), vol. IV, 2007a, pp. 37-44 y 132-140.

² Los «siglos políticos» no suelen coincidir exactamente con los «siglos cronológicos». Así, se habla del «gran siglo XVIII» o el «siglo XVIII completo», que se considera que dura hasta 1815 (Waterloo y el Congreso de Viena). Nosotros, siguiendo a Hobsbawm y otros historiadores, consideraremos que el «siglo XIX político» o «largo siglo XIX» está comprendido, para Europa, entre 1789 (Revolución francesa) y 1914 (estallido de la Primera Guerra Mundial). Para España parece más adecuado iniciar este «siglo XIX político» en 1814 (final de la guerra de Independencia).

³ M. SILVA SUÁREZ: «Presentación. El Ochocientos: de la involución postilustrada y la reconstrucción burguesa», en M. Silva Suárez (ed.), vol. IV, 2007a, p. 41.

demia de Ciencias, fundada en 1847— encontramos ya a nueve ingenieros civiles, y eso que todavía no se habían fundado todas las escuelas⁴.

Desde el punto de vista institucional, esta separación ciencia-ingeniería podría asociarse en España a la creación en 1857 de las Facultades de Ciencias. Las fricciones entre ambos colectivos profesionales tomarán muchas veces la forma de polémicas entre los catedráticos de la Facultad y los de las escuelas de ingenieros, especialmente con los de Caminos (las más sonadas, en 1866 y 1886).

Por otro lado, en el seno de la comunidad ingenieril —al margen de las polémicas relacionadas con competencias profesionales o exclusividades de atribuciones— tendrán lugar discusiones de carácter conceptual acerca del papel que deben desempeñar las matemáticas en la formación de los ingenieros. Estas discusiones tuvieron lugar en la mayor parte de las especialidades de ingeniería. En este capítulo se van a examinar con más detalle las que se produjeron en la más representativa e influyente de las ingenierías de cuerpo, la de Caminos, en la ingeniería de carácter profesional libre, la ingeniería industrial, y en la ingeniería de Montes. También haremos incursiones más breves en la ingeniería de Minas y en el campo de los arquitectos, de los ingenieros agrónomos y de los telegrafistas.

En algunos casos —Industriales y Montes, por ejemplo— las matemáticas servirán de «fiel de la balanza» para determinar el estado de equilibrio existente en un momento dado entre componentes constitutivos de la formación del ingeniero que tienden a estirar en sentidos opuestos: teoría-práctica, para los industriales; ciencias exactas-ciencias naturales, para los forestales. Pero como veremos, aparte de reflejar la lógica preocupación de los responsables, publicistas y dirigentes por conseguir una formación rigurosa y equilibrada para los futuros ingenieros, los debates no pueden ocultar que la reflexión acerca de las matemáticas se debe muchas veces a cuestiones relacionadas con el poder, la influencia y el prestigio del colectivo profesional. Esto está meridianamente claro en el caso de los ingenieros de Caminos, que utilizaron las discusiones acerca de las matemáticas para «marcar territorio» frente a la Universidad, e incluso frente a las disposiciones normativas emanadas de los responsables de Instrucción Pública.

Hay un último aspecto que es forzoso destacar: todas las especialidades de la ingeniería civil tienen además en común el hecho de que las matemáticas han sido

⁴ Entre los 36 miembros fijados por el decreto fundacional de 25 de febrero de 1847, había cuatro ingenieros de Caminos (J. Subercase, J. García Otero, P. Miranda, J. del Campo), dos de Minas (J. Ezquerro, R. Amar), dos titulados de la École Centrale de París, que después serían profesores del Real Instituto Industrial (J. Alfonso, C. S. Montesinos) y el que sería primer director de la Escuela de Agrónomos (P. Asensio). Pero también había nueve militares, entre ellos el presidente, A. Remón Zarco del Valle. En 1865, de las 36 medallas académicas, 10 correspondían a ingenieros y 7 a militares, lo cual es una muestra muy gráfica de esa sustitución de los militares por los ingenieros en las instituciones científicas del país.

utilizadas como instrumento selectivo, como barrera social (económica e ideológica), todo lo «meritocrática» que se quiera, pero barrera al fin y a la postre, para preservar a una «aristocracia de la inteligencia» aislada y encumbrada en la cima de la pirámide clasista.

I

LAS MATEMÁTICAS COMO PRETEXTO EN LA LUCHA POR LA HEGEMONÍA: LOS INGENIEROS DE CAMINOS

A lo largo del siglo XIX la Escuela de Caminos proporcionó al aparato del Estado unos 950 ingenieros, que realizaron un importante papel en la modernización del país⁵. La selección rigurosa de los aspirantes y la elevada formación impartida por la Escuela confirieron a los ingenieros de Caminos un gran prestigio intelectual y social, que les llevó a formar parte de las élites políticas del país⁶.

Como ha sido señalado abundantemente por los estudiosos, el nivel científico de la Universidad española durante el siglo XIX, especialmente durante su primer tercio, era muy bajo⁷. Por eso no le fue difícil al emergente grupo de los ingenieros de Caminos formar parte de la vanguardia que asimiló las novedades científicas europeas⁸. El cuerpo de ingenieros de Caminos se expresaba públicamente a través de la *Revista de Obras Públicas (ROP)*, en lo sucesivo), fundada por un grupo de profesores de la Escuela en 1853⁹. Examinando esta publicación quincenal podemos hacernos cargo tanto del nivel científico-técnico y de las preocupaciones profesionales de los ingenieros como de sus inquietudes y pronunciamientos políticos.

⁵ Véase F. SÁENZ RIDRUEJO: «Ingeniería de caminos y canales, también de puertos y faros», en M. Silva Suárez (ed.), vol. v, 2007b, pp. 127-184.

⁶ José de Echegaray y Práxedes Mateo Sagasta fueron los mascarones de proa más visibles de este influyente grupo. Véase el apartado V.3 («Ingenieros de caminos en la política») del citado artículo de SÁENZ RIDRUEJO, pp. 167-175.

⁷ Véanse M. PESET y J. L. PESET, 1974; J. L. PESET, S. GARMA y J. S. PÉREZ GARZÓN, 1978; y M. DE PUELLES: *Educación e ideología en la España contemporánea*, Barcelona, Labor, 1991.

⁸ Es bien conocido, por ejemplo, el papel que desempeñó Echegaray en la importación y divulgación de la matemática que se conocía en Francia. Véase J. M. SÁNCHEZ RON: *José Echegaray*, Madrid, Biblioteca de la Ciencia Española, 1990. Para situar en su justo lugar al excesivamente glorificado personaje, véanse S. GARMA: «Echegaray y la Teoría de Galois», en G. Lusa y A. Roca (eds.), *Cinquanta anys de ciència i tècnica a Catalunya*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 1987, pp. 149-161, y S. GARMA: «El final de las Matemáticas del siglo XIX: Echegaray», en *Matemáticos madrileños*, Madrid, Anaya, 2000, pp. 141-181.

⁹ Los artículos aparecidos en la *ROP*, desde su fundación hasta la actualidad, son consultables en la dirección <<http://ropdigital.ciccp.es>>. ¡Lástima que no se hayan digitalizado los artículos editoriales!

I.1. Los ingenieros de Caminos defienden la autosuficiencia científica de la Escuela

La convulsa historia política de la centuria fue la culpable de las numerosas reformas y contrarreformas que afectaron al sistema educativo español en el Ochocientos. En diversas ocasiones, las reformas dieron lugar a enfrentamientos entre la Escuela y las directrices u órdenes ministeriales, que en algunos casos pusieron de manifiesto la impotencia de las autoridades educativas frente al poder fáctico de los ingenieros de Caminos. Los más sonados tuvieron lugar con motivo de la creación de las Escuelas Preparatorias (la de 1848-1855 y la de 1886-1892) y por los decretos que obligaban a que los futuros ingenieros hiciesen su preparación científica en la Facultad de Ciencias (1858, 1866)¹⁰. En esos enfrentamientos, las matemáticas fueron utilizadas como arma arrojada por los contendientes.

En las discusiones suscitadas con motivo del establecimiento de la primera Escuela Preparatoria, los ingenieros de Caminos pusieron de manifiesto que las necesidades en formación matemática eran mayores en la Escuela de Caminos que en Minas y en Arquitectura¹¹. Este primer obstáculo a la supremacía de Caminos fue salvado con facilidad. Pero los decretos de 1858 que sustraían a las escuelas especiales la formación científica de los ingenieros, llevándola a la recién creada Facultad de Ciencias, suponían un ataque mucho más grave para la autosuficiencia científica de la Escuela de Caminos.

Los argumentos utilizados por los ministros de Fomento que firmaban los decretos —en 1858 Rafael de Bustos y en 1866 el tristemente célebre Manuel de Orovio— eran de varios tipos. El primero era, lógicamente, la economía que suponía juntar en un solo centro a quienes teóricamente se les iba a impartir una misma formación científica, argumento que ya había sido utilizado para justificar la creación de la primera Preparatoria:

Las carreras facultativas son en su mayor parte aplicaciones de las ciencias exactas y experimentales; tienen, pues, los que a esas carreras se dedican la común necesidad de estar preparados con un mismo estudio abstracto y general¹².

Pero esto no era suficiente: el ministro también lanzaba una andanada contra el modo de enseñar las materias científicas en las escuelas, que terminaban por «desnaturalizarlas» y estancarlas en lo «empírico y exclusivo»:

¹⁰ Véase la «Presentación» que hace M. SILVA SUÁREZ al volumen v, pp. 36-52 y 59-69.

¹¹ En la *ROP* aparecieron diversos artículos de ingenieros de Caminos y de arquitectos. Véanse las referencias en la p. 38 (nota 37) de la citada «Presentación» del volumen v. Para la específica polémica de los ingenieros de Caminos con los arquitectos véase A. BONET CORREA, S. LORENZO y F. MIRANDA: *La polémica ingenieros-arquitectos en España. Siglo XIX*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos / Ediciones Turner, 1985.

¹² Preámbulo del Real Decreto de 18-IX-1858 sobre los programas generales de estudios de escuelas y facultades.

Una vez organizada la Facultad de Ciencias, así en la Universidad Central como en las de distrito, donde convenga establecer la instrucción preparatoria para las carreras superiores, ofrecerá incontestables ventajas la enseñanza académica de las ciencias puras. Cuando se fuerzan los estudios especulativos para dirigirlos desde luego a una determinada aplicación, llegan a desnaturalizarse hasta el punto de que los alumnos, en vez de alcanzar la especialidad científica que apetecen, caen en lo empírico y exclusivo.

Para evitar esta degeneración estaba la Facultad de Ciencias, donde los saberes se impartían con amor desinteresado por las ciencias puras:

Importa, por otra parte, que haya santuarios donde se dé culto a la ciencia por lo que en sí es, por lo que merece, porque satisface una de las más nobles aspiraciones del espíritu. Importa que no aparezca siempre subordinada a miras de inmediata utilidad material [...]; así los mayores progresos en las artes no son de aquel pueblo que ciegamente los busca, sino del que rinde culto a las ciencias, donde las industrias tienen su raíz y fundamento.

El ministro añadía un argumento que sería utilizado años después, cuando se propuso la creación de la segunda Preparatoria (la EGPIA): el benéfico contacto entre los ingenieros de las diversas especialidades:

Importa, por último, que cuantos hayan de dedicarse a las varias profesiones, cuya base común consiste en unos mismos estudios, se eduquen por algún tiempo juntos, porque así podrán comprender y sentir la sublime integridad de la ciencia, y en adelante no se mirarán como rivales ni como extraños sino como miembros de una misma comunión, consagrada a la santa obra del progreso general.

En la práctica, la Escuela de Caminos hizo caso omiso de los decretos de 1858, ya que efectuaba un devastador examen general antes de admitir a los aspirantes que habían aprobado en la Facultad. Ante la ineficacia de los decretos, el Ministerio promulgó otro (21-II-1859) que eximía a los ingenieros de Caminos de la obligación de cursar su formación científica en la Facultad¹³.

Un decreto de Manuel de Orovio¹⁴ de 9-IX-1866 reformaba la Facultad de Ciencias y fijaba las condiciones para ingresar en las escuelas de ingenieros, obligándoles de nuevo a adquirir su formación científica en la Facultad. Los argumentos de Orovio eran mucho más cínicos que los de su predecesor: las ciencias físico-matemáticas podían ser utilizadas para moldear política e ideológicamente a los estudiantes, preservándoles de otras disciplinas (la filosofía o la economía política). El preámbulo de

¹³ Véase «Apuntes históricos de la Escuela especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos», *ROP* (1898), pp. 251-255 y 261-267.

¹⁴ El tristemente célebre Manuel de Orovio se estrenó como ministro de Fomento en 1865 para dirigir la represión que siguió a la «noche de San Daniel». Sus dos famosas «circulares» estuvieron en el origen de lo que se llamó «cuestión universitaria». Véanse M. PESET y J. L. PESET, 1974, pp. 486-490 y 754-763, así como A. JIMÉNEZ LANDI: *La Institución Libre de Enseñanza*, Madrid, Taurus, 1973, vol. I, pp. 152-161 y 427-486.

Orovio —una joya de la oratoria de charanga y pandereta— cantaba las excelencias de la ciencia frente a otros saberes que conducen «a regiones mal sanas» [sic] (el énfasis es mío):

Quando con los conocimientos filosóficos e históricos se llega a tan lejanos términos en las investigaciones, dando quizá a la razón vuelos que la conducen a regiones mal sanas, que con frecuencia la desvanecen y la precipitan, justo es que tengan la debida protección otras ciencias, cuyo tranquilo y bienintencionado estudio abre las puertas a un mundo de hechos y de ideas que no puede estar cerrado a una generación que asiste maravillada al espectáculo del vapor que horada los montes y del alambre eléctrico que une y comunica el pensamiento y las frases de dos razas. [...] *Las ciencias físico-matemáticas y naturales, rectamente enseñadas y dócilmente aprendidas, en vez de conducir al tétrico desapego de las verdades morales y al cautiverio horrible de la materia, con sus aseveraciones y su ornato consuelan y fortifican el corazón y la cabeza.*

A todo esto añadía Orovio otros dos argumentos ya utilizados por su predecesor Bustos: la conveniencia de reunir en un mismo centro a los jóvenes que iban a dedicarse a las carreras especiales, y lo pernicioso de los estudios especializados (el énfasis vuelve a ser mío):

El sistema de separar desde un principio a los jóvenes que se dedican a cada una de las carreras especiales, de aislarlos hasta el punto de que durante seis o más años viva la inteligencia en una tensión continua, siempre con la mira puesta en el mismo fin, siempre con las facultades del alma ocupadas en un solo objeto, produce por necesidad cierta propensión a dar en lo exclusivo, *cierta tristeza de ánimo que agosta y seca las imaginaciones más lozanas, y vuelve amanerados y sombríos los talentos más felices.* [...] No hay riesgo alguno para la instrucción en que los alumnos de las carreras especiales hagan en la Facultad de Ciencias los estudios teóricos de su instituto respectivo; antes bien, suavizándose un tanto *la especie de rígida monotonía que al presente constituye por necesidad el carácter de las Escuelas*, los jóvenes harán la mitad de su carrera en agradable comunicación, respirando un mismo ambiente científico, y preparándose para recibir después en los tres años de ampliación y aplicación la sabia y vigorosa enseñanza que distingue y enaltece a nuestras Escuelas especiales.

Pero después de estas florituras, el ministro no podía ocultar las auténticas razones de la reforma:

Si se priva a la Facultad de Ciencias de la calidad de Escuela teórica para ciertas profesiones, quedará reducida a la condición de una Facultad en que, estudiándose la ciencia por la ciencia y sin esperanza de ventaja alguna positiva, atraiga contadísimos número de alumnos, y arrastre una existencia lánguida y por demás desdichada.

He aquí, pues, la madre del cordero: no había suficientes alumnos en la Facultad de Ciencias, y forzoso era reclutarlos en el campo de las escuelas de ingeniería.

Los ingenieros de Caminos respondieron a los empeños ministeriales con dos tipos de argumentos: en primer lugar, insistiendo en el diferente carácter que debían tener la formación matemática del ingeniero y la del científico puro. Pero a esto se añadía una crítica feroz al bajo nivel matemático de la Facultad de Ciencias.

La redacción de la *ROP* escribió un artículo titulado «Inconvenientes de separar la enseñanza de los dos primeros años de la Escuela especial de Caminos»¹⁵, opiniéndose a volver a una experiencia que «tan funestos resultados había producido en la enseñanza» y afirmando que los buenos resultados de la Escuela de Caminos eran «debidos única y exclusivamente a su organización y carácter especial», bien diferente de la Universidad:

La enseñanza de las ciencias físico-matemáticas en las Universidades tiene que ser muy general, los alumnos no pueden aprender, ni mucho menos aprovechar en clases numerosas todo lo que el profesor explica, pues la índole misma de estos grandes establecimientos la hace incompatible con la continuada atención que exige la enseñanza profunda de las ciencias, sobre todo en las clases de Cálculo superior, Geometría descriptiva, Mecánica racional y Geodesia, en que los desarrollos largos y complicados que es preciso hacer durante las lecciones, así como la representación de las figuras con todos sus detalles, hace necesario tener siempre fija la atención de los alumnos y seguir las explicaciones en todas sus partes.

La más enérgica contestación al decreto de Orovio de 1866 también vino de la Escuela de Caminos. El número 22 de la *ROP* (15-XI-1866) se abrió con un artículo sin firma —atribuido unánimemente a Echegaray— titulado «Sobre la reforma de la facultad de ciencias y de las Escuelas especiales», cuyo propósito era «levantar nuestra voz en defensa de la enseñanza de las ciencias físico-matemáticas hoy comprometida» por la reforma. En este artículo hay dos líneas de argumentación. En primer lugar, que la diferente naturaleza de la Facultad y de la Escuela impide la enseñanza en común. En segundo lugar, que el plan diseñado para la Facultad es inadecuado, científicamente atrasado, envejecido, y que supone, por lo tanto, un retroceso respecto a lo existente.

El principal error del decreto es pretender unir enseñanzas radicalmente distintas. Un abismo media entre la Facultad y las Escuelas especiales, ya por la índole de las materias, ya por la extensión y tendencia con que deban estudiarse las que puedan ser comunes. O la primera pierde todo su valor científico y desciende y se arrastra por lo más bajo de las matemáticas elementales, o se sacrifica a la juventud que se dedica a las carreras de Caminos, Minas, etc., obligándola a estudiar abstracciones científicas y elevadas teorías, inútiles bajo el punto de vista práctico para la especialidad a la que aspira.

Más adelante señalaba otras causas de tipo práctico que a su juicio hacían inadecuada la asistencia de los futuros ingenieros a la Facultad: las clases numerosas y el ambiente excesivamente alegre:

¿Quién ignora que, sea cual fuere la inteligencia y el celo de los profesores, nunca en clases numerosas se enseñan con profundidad y solidez las ciencias matemáticas? Aunque Cauchy, aunque Poisson, aunque Lagrange, aunque el mismo Newton enseñase en la Universidad analítica, o cálculo, o mecánica, dadas las actuales circunstancias —es decir, cursos de cinco o seis meses, salpicados de infinitas fiestas y vacaciones, y 150 o 200 jóvenes de 15, 16 y 17 años— nosotros afirmamos con seguridad

¹⁵ *ROP*, n.º 18 (septiembre de 1858).

absoluta que nada conseguiría, y que serían estériles todos sus esfuerzos. [...] ¡Qué mal se avienen la severa y provechosa disciplina de las Escuelas especiales con la natural libertad de que gozarán los jóvenes en los primeros años de estudios universitarios, lo cual es inevitable donde se reúnen miles de estudiantes!

[...] Dividir la enseñanza de las matemáticas en las varias Escuelas especiales es el único medio de que sea provechosa, intensa, verdadera; centralizarla en un establecimiento, llámese Universidad, Colegio politécnico o Facultad de ciencias, es hacerla imposible.

El articulista dedicaba el resto de su escrito a criticar la propuesta de reforma de la Facultad de Ciencias, por su bajo nivel matemático:

El programa de los estudios que la facultad de ciencias abarca no ha de dar gran idea de nosotros en el extranjero, y basta pasar la vista por las materias que comprenden los cuatro años de la enseñanza para convencerse que la tan ansiada facultad, la que iba a elevarnos al pináculo de la ciencia no es casi otra cosa que la preparación por el Estado para el ingreso en las Escuelas. [...] Las materias comprendidas en el programa de la facultad no representan ciertamente la ciencia moderna. ¿Dónde está en el programa de la facultad una clase de Álgebra superior como la que —no hoy, sino 18 años ha— explicaba brillantemente Mr. Serret en la Sorbonne? La asignatura que el decreto titula Complemento de Álgebra será, cuanto más, teoría general de ecuaciones con la extensión de las obras elementales; pero no comprenderá la teoría de los determinantes, ni las congruencias, ni las factoriales, ni la teoría de las sustituciones, ni los trabajos de Abel, Galois, Hermite y tantos otros geómetras: y sin embargo todo esto debía enseñarse en la facultad, si ha de sufrir sin desdoro el parangón con otras facultades del extranjero.

¿Dónde está una clase de Geometría superior? El eminente geómetra francés Mr. Chasles la explicaba 20 años ha en la facultad de ciencias de París: en la Universidad de Madrid nunca se ha explicado, ni en el nuevo plan aparece; de suerte que nuestros doctores en ciencias matemáticas y físicas alcanzarán su borla sin saber que existen relaciones anarmónicas, sistemas homográficos, puntos en involución y figuras homológicas.

Como en tantas otras ocasiones, la polémica fue dirimida por un acontecimiento político: la Revolución gloriosa de septiembre de 1868, que expulsó por primera vez a los Borbones de España. El decreto de «libertad de enseñanza» (21-X-1868) derogaba las reformas de Orovio y volvía a lo prescrito en la Ley Moyano de 1857. Por lo que se refiere a la Escuela de Caminos, una de las principales repercusiones del decreto consistió en la entrega a la enseñanza libre (las academias privadas) de todas las matemáticas elementales y superiores, y buena parte de las ciencias físico-químicas. El nuevo ministro de Fomento, Ruiz Zorrilla, estaba orgulloso de que esta era

la más trascendental y fecunda de las reformas, porque así estos establecimientos [las escuelas de ingenieros] quedan reducidos a verdaderos centros especiales de aplicación, sin que los compliquen ni desnaturalicen asignaturas que solo a la ciencia pura se refieren.

[...] Así se resuelve un conflicto gravísimo que tiempo ha surgió entre la Universidad y las escuelas especiales sobre la reforma de las matemáticas superiores¹⁶.

¹⁶ Decreto reorganizando la enseñanza de las Escuelas especiales de Ingenieros de Caminos, Minas y Montes, *Gaceta de Madrid*, 24-X-1868.

Dada la fuerte presencia de los ingenieros de Caminos entre los dirigentes del «Sexenio democrático» (1868-1874) —Sagasta, Echegaray, pero también otros 19 diputados—, la Escuela mantuvo su autonomía y su influencia intelectual... durante unos cuantos años. El episodio de la Escuela General Preparatoria¹⁷ (1886-1892) resucitaría los debates de 1848-1855, 1857-1858 y 1866-1868, sin ningún argumento nuevo, pero finalmente la idea unificadora desapareció de la escena¹⁸, con lo que —por lo menos en este aspecto— la Escuela de Caminos podría continuar sin interferencias su trayectoria.

1.2. Polémicas fniseculares sobre el examen de ingreso

La preocupación por la formación impartida en la Escuela, así como por los métodos de selección de los aspirantes, ha sido una constante en los artículos aparecidos en la *ROP*. Hacia finales de siglo la revista volvió a ser testigo de una discusión en relación con el examen de ingreso. Ahora ya no se trataba de responder a «agresiones exteriores» (iniciativas ministeriales) que intentaban modificar el estatus de la Escuela, sino de discusiones internas en el seno del colectivo de ingenieros de Caminos, en el cual lógicamente existían opiniones diferenciadas acerca de la organización de las enseñanzas. También aquí, como veremos, el quid de la cuestión residirá en las matemáticas.

En los exámenes de 1893 se había implantado una primera prueba escrita, de carácter eliminatorio, que fue objeto de la publicación de una serie de tres artículos escritos por Vicente Machimbarrena¹⁹, que señalaba lo inadecuado de las pruebas escritas para las asignaturas de matemáticas. A partir de esta motivación, Machimbarrena se ocupaba de otras muchas cuestiones relativas al ingreso, entre ellas la que se refería a la supresión del curso preparatorio, con lo cual los aspirantes «habían sido lanzados a los azares de la enseñanza privada». Se quejaba el articulista de la «injusticia notoria que suponía la escasa protección que el Estado prestaba a las carreras de Ingeniería comparada con la que se otorgaba a las Facultades». Los médicos, abogados, etc., podían hacer sus estudios en centros de enseñanza costeados por el Estado, mientras que

los ingenieros tienen que estudiar cerca de la mitad de su carrera en Academias privadas, en donde los honorarios son necesariamente crecidos. Consecuencia de esto es que la provisión del personal de las carreras diversas de Ingenieros es patrimonio exclusivo de las clases regularmente acomodadas, lo que pugna con las ideas democráticas de la sociedad moderna.

¹⁷ Véase vol. v, pp. 42-52 y 378-382.

¹⁸ He localizado un intento de crear una Escuela General Preparatoria... ¡en 1938! (una iniciativa del Ministerio de Educación Nacional del Gobierno franquista de Burgos que no llegaría a materializarse).

¹⁹ «Los exámenes de ingreso en la Escuela de Caminos», *ROP* (1893), pp. 245-247, 253-254, 261-264 y 269-274. Vicente Machimbarrena (1865-1949) —de quien hablaremos más adelante— sería director de la Escuela entre 1924 y 1936.

Pocos años después, en 1897, la *ROP* publicaba un artículo de José Álvarez y Núñez, presidente de la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos, en el que también se pronunciaba a favor de que el Estado proporcionase enseñanza a los ingenieros y arquitectos, como hacía con los demás profesionales. El autor señalaba que la mayor parte de los aspirantes a las escuelas necesitaban cuatro o más años para la preparación del ingreso en academias particulares, lo cual suponía un gasto de 840 pesetas anuales, con lo que «solo los hijos de familias medianamente acomodadas pueden seguir algunas de las carreras de ingeniero o arquitecto». Por ello acababa manifestándose partidario de implantar una Escuela preparatoria, eso sí, «sin los defectos de la suprimida en 1892».

En 1900 se modificó el reglamento del ingreso en la Escuela, de modo que solo existía un examen teórico-práctico de Cálculo infinitesimal y de Geometría analítica, exigiéndose para ser admitido a examen la presentación de certificados de haber aprobado en la Facultad de Ciencias los dos cursos de Análisis matemático y los de Geometría y Geometría analítica. La medida provocó las críticas de muchos ingenieros, que volvían a señalar lo inadecuado del carácter abstracto y especulativo de la enseñanza de las matemáticas en las universidades,

declarando dañoso en alto grado para el porvenir de la Escuela, y por lo tanto para los ingenieros, que se extravió el criterio de los jóvenes que han de dedicarse a tal profesión, lanzándolos a estudios especulativos en los que parece que hay empeño de hacer anti-páticas y odiosas las verdades matemáticas, vistiéndolas con un ropaje pretencioso cual si una ostentosa exhibición de teorías, algunas aún borrosas e incoloras, y otras disfrazadas con nombres modernos, sirviese para enaltecer a los que las profesan.

Esto contaba Rogelio Inchaurreandieta, director de la Escuela, en un artículo de la *ROP*²⁰, señalando por su parte que el sistema vigente antes de la reforma, fundado en el examen teórico-práctico de las matemáticas, desde la Aritmética hasta el Cálculo infinitesimal, no estaba exento de inconvenientes, por lo que era preciso modificarlo. Inchaurreandieta, que se mostraba partidario de la necesidad de proporcionar teorías matemáticas sólidas a los futuros ingenieros, formulaba así su declaración de principios en relación con el papel de las matemáticas para la formación de los ingenieros:

En la Escuela de Caminos hay virtualmente una declaración grabada en su puerta que dice: que no pretenda pasar por ella quien no domine los problemas elementales sin preocupación ni fatiga como no lo siente para las letras el que lee de corrido. [...] Ardiente defensor, como soy, de los estudios teórico-prácticos, consideraría un grave mal para la Escuela que los ejercicios prácticos debilitasen en lo más mínimo a la solidez de las teorías fundamentales. Opinan algunos que un aumento prudencial de las dificultades y la extensión de la teoría en los primeros estudios de las matemáticas es un bien para los que se dedican a nuestra profesión, porque les sirve de prueba para sus aptitudes y de gimnasia para la inteligencia, enseñándoles a discurrir. Considero

²⁰ «Condiciones para el ingreso en la Escuela de Caminos, Canales y Puertos», *ROP* (1900), pp. 188-189.

útil y justificado que se aspire a ese fin; pero entiendo que este puede conseguirse sin abusar de los teoremas abstrusos y de escasa o de ninguna aplicación. Por eso defiendo la enseñanza desde la Aritmética al Cálculo, tal como debe darse en las Facultades *siempre que se complete con muchos ejercicios prácticos*; pues con ello se somete a los aspirantes a una selección muy conveniente, pues el que no sea capaz de aprender bien los cursos de Facultad hasta la Geometría analítica no debe dirigir sus aspiraciones a esta Escuela, como no debe hacerlo el que no tenga voluntad ni gusto para adquirir facilidad y dominio en las aplicaciones. La Escuela de Caminos tiene por misión hacer Ingenieros, no maestros de obras o de talleres industriales o artísticos.

El artículo fue contestado en el número siguiente de la *ROP* por Vicente Machimbarrena²¹, a quien no convencían los razonamientos de Inchaurreandieta, e insistía en la diferencia radical con la que se impartían las asignaturas matemáticas en la Facultad y en las Escuelas:

La ciencia matemática es susceptible de marchar por abstracciones tan radicales, que desde sus alturas hasta se llega a mirar con desprecio a las aplicaciones. ¿No se comete un error trascendental, de principios, orientando las inteligencias de los jóvenes que desean ser ingenieros en direcciones que no deben seguir?

Pero además Machimbarrena cargaba contra la Facultad, acusándola de ser un coladero:

Además de este error de principios y después de tanto lujo de teorías en los programas, viene la realidad a enseñarnos que los alumnos aprueban con relativa facilidad las asignaturas en las Facultades de Ciencias, por esa benevolencia viciosa característica de nuestros centros universitarios, con lo cual el mal se agrava, porque si es inconveniente perder el tiempo estudiando teorías inútiles para el objeto que cada cual se propone, menos mal cuando se llegan a conocer bien; pero el enmarañar la inteligencia con ideas confusas, casi siempre equivocadas, es un mal gravísimo, difícil de corregir.

Prosigue Machimbarrena augurando un futuro lleno de fracasos a quienes tengan que pasar por el nuevo procedimiento, exagerando teatralmente los vicios tópicamente propios de la Facultad:

El resultado del nuevo sistema será que los jóvenes que deseen ser ingenieros de Caminos no pasarán en los dos o tres primeros años de preparación las amarguras propias de los exámenes de nuestra Escuela, tan rigurosos, que este año de 60 aspirantes solo han sido aprobados nueve en Aritmética y Álgebra. Llegarán con facilidad a saber *oficialmente* desde Álgebra hasta Geometría analítica; pero al prepararse para el examen teórico-práctico de Cálculo infinitesimal y Geometría descriptiva se encontrarán con que no saben quitar denominadores, por ser esta una operación demasiado mecánica para perder el tiempo adquiriendo experiencia en ella, y lo mismo digo del manejo fácil de las tablas de logaritmos, vulgaridad del Álgebra, impropia de hombres de ciencia, de la determinación de áreas y volúmenes, de la resolución de triángulos y ecuaciones, del cálculo de derivadas, ocupaciones propias de practicantes sin elevación de ideas.

²¹ «El ingreso en la Escuela de Caminos», *ROP* (1900), pp. 203-204.

En el número siguiente de la *ROP*, Luis Octavio de Toledo²², catedrático de Análisis matemático en la Universidad Central, salió en defensa de la Facultad²³, señalando que en ella se impartían «algunos conocimientos de carácter más práctico que teórico, como los métodos de Horner y Gräffe para la solución de ecuaciones numéricas, y otros como la teoría de figuras recíprocas, que son la base de la Estática gráfica», que curiosamente no se explicaban en la Escuela, mientras que por el contrario en sus programas figuraban materias como la Teoría de las formas algébricas que —ironizaba Octavio de Toledo— «ignoro qué utilidad práctica pueden prestar al Ingeniero». Pasaba después a rebatir el argumento de la «relativa facilidad con que los alumnos aprueban asignaturas en las Facultades», que consideraba «injurioso para el Profesorado», esgrimiendo los resultados de las últimas convocatorias, y terminaba:

No tengo interés personal alguno en que la preparación de las Escuelas especiales venga o no a nuestra Facultad: es más, creo que, si llega a venir, debe variar su actual organización, llevando a un período común la parte elemental y de aplicación inmediata de las materias, parte que necesitan por igual el Ingeniero y el Doctor, y reservando para un período de ampliación los estudios abstractos de ciencia pura que al primero no interesan y que el segundo debe cultivar; pero no puedo dejar pasar en silencio los ataques que a nuestra Facultad se dirigen y que no encuentro bien fundamentados; y creo, además, que lo que se hace en Bélgica, Italia, Estados Unidos y otras naciones, en donde el Ingeniero toma de los conocimientos explicados en la Universidad aquello que le hace falta, bien puede intentarse en nuestro país, sin que los cuerpos de Ingenieros pierdan nada de su actual brillantez, ni nosotros ganemos más que una mayor suma de trabajo y responsabilidad.

Machimbarrena le contestó en el número siguiente de la *ROP*²⁴, asegurando que su intención era «demostrar que son esencialmente distintos los estudios de matemáticas que se exigen en nuestras Escuelas especiales de Ingenieros y los que comprenden los programas de las Facultades de Ciencias». Octavio de Toledo respondió en la propia *ROP*²⁵ con un artículo titulado «Para terminar una discusión», en el que, aunque con ánimo conciliador, defendía los programas de la Facultad, así como la bibliografía utilizada, contraponiéndolos a los de la Escuela de Caminos, y concluyendo:

No me molesta que se critique mi programa, ni tengo la pretensión de creer sea perfecto, ni mucho menos lejos de eso, tengo sumo placer en escuchar cuantas advertencias se me hacen y que tienden a su mejoramiento; así que desde luego me pongo a disposición, no solo del Sr. Machimbarrena, sino de quien lo desee, para escuchar en científica conversación cuantas observaciones se me hagan; lo que he hecho es sencillamente aclarar conceptos no bien entendidos y rebatir observaciones que no estaban, a mi juicio, bien fundamentadas.

²² Véase su «Apunte biográfico» en M. SILVA SUÁREZ (ed.), vol. v, 2007b, p. 685.

²³ «En defensa de la Facultad de Ciencias, y en defensa propia», *ROP* (1900), pp. 211-212.

²⁴ «Enseñanza universitaria», *ROP* (1900), pp. 219-220.

²⁵ En el número 1.294, publicado en 19-VIII-1900, pp. 228-229.

La preocupación por la formación matemática de los ingenieros seguiría viva en la *ROP*, aunque ya no volverían a repetirse polémicas con la Facultad de Ciencias.

II

LAS MATEMÁTICAS COMO INDICADOR PARA DETERMINAR EL EQUILIBRIO ENTRE EL «TEORICISMO» Y EL «PRACTICISMO»: LOS INGENIEROS INDUSTRIALES

El siglo XIX ha visto la aparición de un nuevo tipo de técnico, quizás el más característico de la centuria: el ingeniero industrial. En el proceso de desvinculación de la formación técnica de los talleres y manufacturas, iniciado simbólicamente con la creación de la *École des Ponts et Chaussées* (1747), aparecerá en escena la *técnica científica académica*, la que se aprende en instituciones específicas de enseñanza. En lo que se refiere a las enseñanzas para la industria, en Europa este nuevo técnico será alumbrado por la parisina *École Centrale des Arts et Manufactures* (1829)²⁶. En España este técnico será creado por el Gobierno en 1850, con la intención de sustituir a los técnicos extranjeros y a los empíricos, carentes de educación formal²⁷.

Los ingenieros industriales se encontraron con graves dificultades durante las primeras décadas de su existencia, debido a ser una profesión libre sin atribuciones específicas. Su consolidación profesional se produjo en dura competencia con los técnicos empíricos o «rutinarios», con los técnicos extranjeros —a los que se calificará frecuentemente de «charlatanes que vienen con grandes títulos, muchas veces ficticios, y solo con algunas recetas»— e incluso con los arquitectos y los ingenieros de Caminos, de Minas y militares²⁸. Esta tensión y este desasosiego profesional obligarán a los ingenieros industriales a hacer una propaganda permanente de su capacidad profesional y de la amplitud y profundidad de sus conocimientos. Esta es probablemente una de las causas del interés suplementario que manifiestan por su propia formación.

²⁶ La *École Centrale*, fundada en 1829 por Pécelet, Dumas y Olivier, aspiraba a «hacer la competencia a la *École Polytechnique*, donde todo se hacía en Álgebra, desdeñando otros procedimientos que conducen más pronto a conocer los fundamentos teóricos que rigen el trabajo humano». Cita extraída del artículo «Nuestra carrera», *Boletín de la Asociación Nacional de Ingenieros Industriales*, n.º 22 (noviembre de 1893), pp. 673-681. Véase A. GRELON: «La naissance de l'enseignement supérieur industriel en France», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. 1, pp. 53-81.

²⁷ La ingeniería industrial ha sido tratada en tres capítulos del volumen V de esta colección: P. J. RAMÓN TEJELLO y M. SILVA SUÁREZ: «El Real Conservatorio de Artes (1824-1887), cuerpo facultativo y consultivo auxiliar en el ramo de la industria», pp. 235-294; J. M. CANO PAVÓN: «El Real Instituto Industrial de Madrid y las escuelas periféricas», pp. 295-350; G. LUSA: «La Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona», pp. 351-394.

²⁸ Véase M. SILVA SUÁREZ y G. LUSA MONFORTE, 2007, pp. 323-386.

En el momento de creación de la carrera aparece una «dialéctica» que dará lugar a una permanente tensión interna originada por dos mandatos opuestos: por un lado, hay que aplicar la ciencia a la industria, barriendo de la escena a la «ciega rutina» y al «vano empirismo»²⁹, lo cual exige dotar a las enseñanzas industriales de un elevado nivel científico. Pero, por otro lado, hay que mantener el contacto con la técnica y la industria, evitando caer en el infecundo teoricismo de los «ingenieros de levita y corbatín»³⁰. Cuando a lo largo del más de siglo y medio de existencia de la profesión los profesores, los ingenieros y los fabricantes se interroguen acerca del estado de equilibrio de esas dos fuerzas opuestas, el «teoricismo» y el «practicismo», otorgarán precisamente a las matemáticas un papel primordial de indicador³¹. Aparecerá una «polémica de las matemáticas en la ingeniería» que planteará, entre otras, las siguientes cuestiones:

- ¿Cuáles y cuántas matemáticas? («matemáticas», a secas, frente a «matemáticas del ingeniero»).
- ¿Con qué carácter deben impartirse? («herramienta» frente a «disciplina mental»).
- ¿En qué lugar y momento? («antes del ingreso, en preparación privada o en la Facultad de Ciencias» o bien «dentro de la Escuela»).
- ¿Quién debe explicarlas? («matemáticos» o «ingenieros»).

En función de cómo se han respondido a estas cuestiones, hace más de treinta años³² que dividí la historia de la ingeniería industrial en tres períodos, el primero de los cuales —que va de 1850 a 1902— se caracterizaría por los siguientes rasgos:

- Influencia de las escuelas técnicas francesas (Polytechnique, para las Escuelas de cuerpo, y École Centrale para los ingenieros industriales): los *resultados* de la ciencia *se aplican* a la técnica y a la industria.
- Interconexión (no exenta de rivalidad) con la Facultad de Ciencias, al tener muchas veces que cursar obligatoriamente los futuros ingenieros algunas asignaturas de matemáticas en la Facultad.

²⁹ Preámbulo del Real Decreto de 20 de mayo de 1855, que establece el plan orgánico de los estudios de Ingeniería Industrial.

³⁰ A raíz de las discusiones Madrid-Barcelona acerca del otorgamiento del carácter superior a la Escuela Industrial Barcelonesa, la *Revista Industrial*, órgano de la Junta de Fábricas de Cataluña, dedicó varios artículos a analizar el estado de las enseñanzas industriales, y a criticar ferozmente el excesivo teoricismo e ignorancia práctica del profesorado del Real Instituto Industrial de Madrid. Ahí aparecen las expresiones «ingenieros de gabinete», «ingenieros de levita y corbatín» y otras semejantes. Véase G. LUSA, 1994b, pp. 61-80.

³¹ En apoyo de mi tesis, obsérvese que no están documentadas polémicas significativas acerca del carácter que deben tener las enseñanzas de Física, de Química o de Dibujo en las escuelas de ingeniería.

³² G. LUSA, 1975.

- La enseñanza de las matemáticas está en manos de matemáticos profesionales, o de ingenieros que son también matemáticos.
- Pluralidad de libros de texto, mayoritariamente franceses³³.

La época que aquí estamos considerando —el siglo XIX, en un sentido amplio—, está, pues, dominada por la influencia del modelo francés: las escuelas de ingenieros imparten unas enseñanzas de elevado nivel teórico, lo cual comporta asignar un papel fundamental, cualitativa y cuantitativamente hablando, a las matemáticas. Así parece corroborarlo el análisis de programas y textos que hemos efectuado en otros trabajos³⁴.

En relación con la importancia que se concedía a las matemáticas en la formación del ingeniero industrial e incluso en su caracterización, la primera referencia pública que hemos encontrado es de 1857, en una serie de artículos escritos por Cayetano Cornet y Mas en la *Revista Industrial*, órgano de la Junta de Fábricas (la gran patronal), cuando señala que sin Cálculo infinitesimal y Mecánica racional no se le dan al alumno de la enseñanza profesional «los elementos necesarios para calcular las máquinas e instrumentos que ha de construir y dirigir»³⁵, es decir, para desarrollar unas tareas fundamentales y características de la entonces nueva profesión. Significativamente, encontraremos otra mención a la pareja «Cálculo infinitesimal-Mecánica racional» como indicadores del alto nivel de las enseñanzas industriales en un artículo escrito por el ingeniero industrial José Serrat Bonastre al final del período que estamos considerando, en 1904³⁶, cuando criticando la elevación al nivel de ingeniería superior de las enseñanzas textiles que se impartían en la Escuela Industrial de Tarrasa señala que «la frontera que separa a los Ingenieros de los Peritos son las asignaturas de Cálculo infinitesimal y Mecánica racional». Y añadía que estas materias matemáticas debían estar bien articuladas con las asignaturas tecnológicas: «pero su estudio de poco ha de servir si después no queda tiempo para hacer aplicación de ellas». He aquí, pues, una mención al equilibrio buscado.

El hecho de que las matemáticas fuesen empleadas como instrumento de selección marcó sin duda a los ingenieros durante su vida profesional. La elevada formación adquirida en los primeros años de la carrera les imprimió una notable afición por las matemáticas³⁷. Es de destacar la aparición frecuente de artículos o notas breves

³³ En G. LUSA, 1975, pp. 469-490, figura la relación de todos los textos que fueron utilizados en las diversas asignaturas de matemáticas de la carrera entre 1851 y 1975.

³⁴ Ver G. LUSA, 1975, y G. LUSA, 1994a, pp. 263-282.

³⁵ «Escuelas Industriales», *Revista Industrial*, n.º 73 (28-V-1857), pp. 127-128.

³⁶ J. SERRAT: «Los Ingenieros de Industrias Textiles», *Revista Tecnológico-Industrial* (julio de 1904), pp. 169-177.

³⁷ En G. LUSA, 1975, pp. 495-514, figura una amplia relación de libros y artículos de matemáticas escritos por ingenieros industriales.

que se refieren a las matemáticas en las revistas técnicas de más amplia difusión en la época (la *Revista Industrial*, *La Gaceta Industrial*, *El Porvenir de la Industria* y la *Revista Tecnológico-Industrial*). Algunos son simple reproducción de notas aparecidas en revistas científicas extranjeras, o bien noticias de publicación y reseñas de libros de matemáticas, especialmente de los destinados a la preparación del ingreso en la Escuela. Otros se refieren a libros u opúsculos monográficos escritos por ingenieros industriales. Por supuesto, son numerosos los trabajos acerca de la aplicación de las matemáticas a la Mecánica y a las tecnologías. Pero lo más sorprendente es la abundancia de artículos relativos a problemas teóricos clásicos, como la cuadratura del círculo, la duplicación del cubo y la trisección del ángulo³⁸.

La multiplicación de revistas de carácter científico o técnico estimuló el interés y la imaginación de un público más amplio que el estrictamente académico o profesional. En ciertas ocasiones, algunos de los aficionados a las ciencias enviaban sus opiniones a las revistas, la mayor parte de las veces refiriéndose a los problemas clásicos que hemos mencionado, tratados con más osadía que rigor. Se originaron unas sonadas polémicas, en las que muchas veces fueron ingenieros industriales quienes rebatieron los errores formulados por los bienintencionados profanos³⁹.

Pero no es solo en la prensa donde los ingenieros industriales intervienen en polémicas relativas a las matemáticas. También la Academia de Ciencias de Barcelona, de la que forman parte en esa época unos cuantos ingenieros, será el escenario de discusiones igualmente apasionadas, en las que se suscitan discusiones de carácter filosófico que llegan a poner en cuestión la forma de articulación de las matemáticas con la ingeniería. Los debates de los académicos pondrán de manifiesto que las «verdades matemáticas» y las «verdades de la ingeniería» pueden llegar a ser contradictorias entre sí.

Durante estos años finiseculares los matemáticos de la Academia ya están al tanto de las transformaciones que están afectando a los fundamentos de las matemáticas, aunque sea con el lógico retraso debido a su paso previo por las revistas y libros franceses. Las nuevas teorías suscitan intensos debates en el seno de nuestra comunidad científica. Uno de los más interesantes es el que tiene lugar a partir de 1893, relativo al infinito en la geometría, discusión que acaba convirtiéndose en una polémica acerca de la validez y del alcance de las geometrías no euclídeas. El detonador de la discusión lo constituye la memoria «El infinito matemático en la cadena cinemática cilíndrica» (1893), del académico Luis Canalda, profesor de la Escuela de Ingenieros. Canalda hace una exposición de los trabajos del ingeniero berlinés Ferdinand Reuleaux, que ha puesto sólidas bases a la Foronomía o Cinemática racional, estudiando las leyes de la formación de los mecanismos. El arquitecto y académico Josep Domènech Estapà, catedrático de Geodesia en la Facultad de Ciencias, le contesta airadamente en su

³⁸ Puede verse una selección de estos artículos en G. LUSA, 1994c, pp. 347-349.

³⁹ Véase una pequeña muestra de estas polémicas en S. GARMA y G. LUSA, 1995, pp. 523-564.

memoria «Absurdos geométricos que engendran ciertas interpretaciones del infinito matemático» (1894), reprochando «que se trate a los llamados infinitos matemáticos mediante las leyes de la cantidad finita».

Canalda prosigue publicando trabajos en la misma línea: seis meses después lee en la Academia «Aplicaciones de la Geometría cinemática. Transformación de la ecuación del círculo en la de la recta, cuando el radio adquiere una magnitud infinita, por medio del rombo de Peaucellier» (1894). Domènech le responde con su memoria «Los mecanismos no pueden oponerse a las verdades matemáticas», leída en la Academia en febrero de 1897, rebatiendo «las demostraciones mecánicas que han querido darse de algunos absurdos geométricos nacidos a propósito de la consideración del infinito matemático». Reitera sus principales argumentos en las conferencias «Justa interpretación que debe darse al cero y al infinito matemático», pronunciadas en el Salón Doctoral de la Universidad en marzo de 1898. Domènech quiere dar la «voz de alerta a los alumnos de las facultades de ciencias y escuelas especiales» para que no lleven muy lejos su entusiasmo por las nuevas geometrías, y sigan confiando en «la geometría euclidiana, que es la única que se halla conforme con la naturaleza del espacio que concebimos y de las formas que nuestra mente puede imaginar».

Canalda no entrará al trapo, y seguirá escribiendo durante bastantes años diversos trabajos de carácter geométrico-mecánico, como una nueva entrega de «Aplicaciones de la Geometría cinemática»: «El infinito matemático en la máquina de vapor de acción directa», «La hipérbola curva cerrada, o el infinito matemático en el mecanismo de manubrios antirrotativos».

Con la consolidación del cantorismo y de las geometrías no euclídeas, los universos matemáticos de la Escuela de Ingenieros Industriales y de la Facultad de Ciencias acentuarán su divergencia, pese a que ambos centros compartirán un mismo edificio hasta 1927. La identidad constitutiva matemáticas-ingeniería, procedente del Renacimiento y de la Ilustración, ha terminado por disolverse.

III

ALGUNOS DEBATES EN LA ARQUITECTURA Y EN OTROS CAMPOS DE LA INGENIERÍA

III.1. *En torno al papel de las matemáticas en la formación de los arquitectos*

Desde la época de la Antigüedad greco-romana hasta finales del siglo XVIII no existió una diferenciación clara entre las competencias específicas del arquitecto y las del ingeniero⁴⁰. En España, fueron los arquitectos quienes mantuvieron una mayor presencia y preponderancia social hasta la aparición, durante el tránsito del XVIII al XIX,

⁴⁰ A. BONET CORREA, S. LORENZO y F. MIRANDA, 1985, pp. 11-75.

de los ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, que bien pronto se convirtieron en uno de los principales cuerpos de élite al servicio de la Administración. El Decreto de 10-X-1845 entregaba prácticamente la totalidad de las obras públicas a los ingenieros de Caminos, con lo que los arquitectos protestaron airadamente. Como resultas de la queja, el Gobierno promulgó la Orden de 25-XI-1846, que reconocía algunas competencias a los arquitectos (proyectos de fontanería y dirección de obras costeadas por particulares), orden que no gustó a ninguno de los dos colectivos de profesionales implicados. En las discusiones que se abrieron⁴¹, los ingenieros achacaban a los arquitectos su escasa competencia científica y técnica, calificando a su carrera como predominantemente «artística», mientras que los arquitectos aducían que su preparación científica era suficiente y su visión de la construcción mucho más completa. Aunque se trataba de dirimir competencias profesionales, en los escritos de unos y de otros aparecían frecuentemente, como arma arrojadiza, el cálculo infinitesimal, la mecánica racional y la hidráulica⁴².

Para acercar entre sí a ambos colectivos, en cuanto a formación, el Gobierno estableció por Decreto de 6-XI-1848 la Escuela Preparatoria para las especiales de Caminos, Canales y Puertos, de Minas y de Arquitectura⁴³. Como se sabe, su existencia fue breve (1848-1855) y además contribuyó a exacerbar las diferencias entre ingenieros y arquitectos, aireadas en las polémicas que unos y otros mantuvieron en las páginas de la *ROP*⁴⁴. Sin embargo —sostiene Prieto González—⁴⁵, «la Preparatoria supuso para los arquitectos una ocasión única de acortar distancias con los ingenieros en materia técnica, [...] ya que obligó a la Escuela de Arquitectura a reciclarse y adaptar su enseñanza al elevado nivel de conocimientos que los alumnos traían de aquella».

⁴¹ Por parte de los arquitectos intervinieron José Oriol y Bernadet (en el *Boletín Enciclopédico de Nobles Artes*) y el dúo Antonio de Zabaleta y Narciso Pascual y Colomer (en el mismo *Boletín* y en *El Herald*). Los ingenieros contendieron desde las páginas de *El Español*.

⁴² «La escuela de Arquitectura producirá todo lo que se quiera; pero lo que no podrá hacer ninguna escuela es que los señores Zabaleta y Colomer y la casi totalidad de los arquitectos actuales que jamás han saludado el cálculo diferencial, la mecánica racional, la hidráulica, etc., sepan estas ciencias. En ellas no basta el genio, el numen, la inspiración y otras cualidades expresadas por voces análogas. El hombre científico no nace, se hace; y es preciso para esto haberse dedicado a las ciencias en cierta edad, muchas horas todos los días y por espacio de muchos años». Del artículo (sin firma) «Arquitectura y obras públicas», *El Español*, 15-XII-1846, p. 3.

⁴³ Acerca de esta primera Escuela Preparatoria véase la «Presentación» que hace Manuel SILVA del volumen v de esta colección, pp. 36-42.

⁴⁴ En 1854 la *ROP* publicó artículos de los arquitectos José Oriol Bernadet y Eugenio de la Cámara, en discusión con la redacción de la revista. Ambos reivindicaban la calidad científica de la formación de los arquitectos, con menciones explícitas al Cálculo infinitesimal y a la Mecánica racional.

⁴⁵ J. M. PRIETO GONZÁLEZ: «La Escuela de Arquitectura de Madrid y el difícil reconocimiento de la capacitación técnica de los arquitectos decimonónicos», en M. SILVA SUÁREZ (ed.), vol. v, 2007b, pp. 193-197.

Volvieron a debatirse cuestiones relativas a la formación científica de los arquitectos, y en particular acerca de las matemáticas, en torno a 1875 y años siguientes, con ocasión de la reforma de las enseñanzas arquitectónicas impulsada por Francisco Jareño, que desde la dirección de la Escuela reforzó la enseñanza científico-técnica: «Es la Arquitectura, ante todo, ciencia y tecnicismo. Su dominio es la matemática»⁴⁶. Pero un cuarto de siglo más tarde, en 1901, el claustro de la Escuela de Arquitectura de Madrid proponía limitar los conocimientos científico-técnicos y convertir los estudios artísticos en primordiales para la carrera. De nuevo la polémica ciencia-arte, involucrando a la formación matemática, y esta vez el péndulo se iba hacia el otro lado...

III.2. *La formación matemática de los ingenieros de Montes*

También para los ingenieros de Montes, como para los industriales, existe una especie de «dialéctica original» con presencia de dos elementos antitéticos que estiran en sentidos opuestos: las ciencias naturales, por un lado, y las físico-matemáticas, por el otro, que forman el capital básico de la formación de los forestales. La importancia de unas y de otras en los programas de la Escuela no fue siempre la misma, y el deseado equilibrio fue rompiéndose en un sentido o en otro a lo largo de los años. Casals⁴⁷ señala que en cierto modo esa contradicción es el reflejo de la tensión que existe entre aprovechar y conservar los montes y también, a un nivel más general, entre ciencia aplicada y ciencia pura. Como veremos, al igual que ocurrió con los ingenieros industriales, las matemáticas servirían como indicador —o como espantajo— del estado de ese equilibrio⁴⁸.

Uno de los teóricos más prestigiosos de la ingeniería forestal, Joaquín María de Castellarnau⁴⁹, clamaría contra la matematización de la enseñanza de los forestales, y defendería su papel como naturalistas. En 1885 escribía⁵⁰:

El Álgebra superior y el Cálculo infinitesimal, la Geometría analítica y descriptiva (¡¡con sus aplicaciones a las sombras y a la perspectiva!!) y la Mecánica racional, que se exigen como asignaturas preparatorias, ¿para qué le sirven al alumno de la Escuela? Le sirven para estudiar la Topografía y la Geodesia (?), la Mecánica aplicada y la Construcción forestal (?), que son asignaturas puramente auxiliares, si bien necesarias, y que de ninguna manera revisten carácter de especialidad. [...] Lo que deseáramos es que la enseñanza que se dé en la Escuela tienda a hacer naturalistas, no porque creamos a las

⁴⁶ F. JAREÑO: «Importancia de la Arquitectura y sus relaciones con las demás Bellas Artes», *Revista de la Arquitectura Nacional y Extranjera* (1880), pp. 122-128 y 140-142.

⁴⁷ V. CASALS: «Saber es hacer. Origen y desarrollo de la ingeniería de montes y la profesión forestal», en M. Silva Suárez (ed.), vol. v, 2007b, pp. 395-447, esp. 403-409. Véase también V. CASALS: *Los ingenieros de montes en la España contemporánea (1848-1936)*, Barcelona, Ediciones del Serbal, 1996, pp. 31-63.

⁴⁸ El ingeniero de Montes Ignacio Pérez-Soba Díez del Corral, a quien agradezco su gentileza, me ha proporcionado las principales referencias que he utilizado para redactar este apartado.

⁴⁹ Véase su nota bibliográfica, redactada por V. Casals, en la p. 637 del volumen v de esta colección.

⁵⁰ J. M. de CASTELLARNAU: «La enseñanza de las ciencias naturales en la carrera de ingeniero de montes», *Revista de Montes*, IX (1885), pp. 131-137 y 161-169.

ciencias naturales superiores o inferiores a las exactas, sino porque son las idóneas para el Ingeniero de Montes. Tampoco pretendemos que se borren estas de los programas, ni mucho menos, y solo sí que se subordine lo secundario a lo principal y que haya equilibrio.

Castellarnau criticaba el hecho de que se hubiese roto ese equilibrio introduciendo demasiadas matemáticas, creyendo así que se prestigiaba a la carrera de Montes imitando a la Escuela de Caminos, lo cual condujo a «disminuir el estudio de ciencias naturales y aumentar el de las exactas». No era ese el camino que debía haberse seguido: «hubiera valido más adelantar en terreno propio y crearse una posición especial e independiente».

La creación de la Escuela General Preparatoria de Ingenieros y Arquitectos (EGPIA) en 1886 estimuló también la pluma de los ingenieros de Montes. En 1890 José Secall⁵¹ criticaba el hecho de que las ciencias naturales estuviesen ausentes de las enseñanzas de la EGPIA, y no solo por su absoluta necesidad para los forestales, sino también como imprescindibles para la formación de los arquitectos y demás ingenieros. En cuanto al equilibrio entre las ciencias exactas y las naturales en la formación de los forestales, Secall se inclinaba por el predominio de las segundas:

En la preparación nuestra no debe admitirse equilibrio entre las ciencias exactas y las naturales, sino que debe caer del lado de las últimas. Las primeras, con la extensión que se estudian en la *preparatoria*, son carga inconveniente y pesada, porque desvían al forestal del camino que debe seguir, cuyo libro no debe ser otro que el de la naturaleza, en la cual se mira de muy distinta manera que en los libros de matemáticas.

Secall se quejaba de la EGPIA, porque desde su creación ninguno de los alumnos que de ella salían optaban por proseguir sus estudios en la Escuela de Montes, y porque además la formación impartida era inadecuada para los futuros forestales:

Su preparación actual viene sellada con el vicio de origen del excesivo intelectualismo de las ciencias exactas, con sus procedimientos de demostración y con su medio ambiente de estudio recluso.

Un año más tarde, en un artículo que resumía el estudio que había elaborado por encargo del cuerpo de Ingenieros de Montes para analizar el estado de la Escuela forestal⁵², Secall insistía en sus críticas a la EGPIA, a la que por sus excesivas enseñanzas matemáticas calificaba de «Escuela Preparatoria para la de Caminos»⁵³: además de

⁵¹ J. SECALL: «Las Ciencias Naturales en la Escuela general preparatoria», *Revista de Montes* (1890), pp. 28-32. José Secall Inda fue profesor de la Escuela de Montes de El Escorial y director de la *Revista de Montes*.

⁵² J. SECALL: «La Escuela de Ingenieros de Montes», *Revista de Montes* (1891), pp. 145-150, 179-186, 201-210 y 228-234.

⁵³ Los estudiantes que salían de la EGPIA elegían mayoritariamente la Escuela de Caminos, no solo por su mayor prestigio, sino porque además era el cuerpo en el que existían más plazas. El cuerpo de Caminos (en 1886) estaba formado por 265 ingenieros, el de Minas (en 1887) por 197, el de Montes (en 1886) por 173 y el de Agrónomos (en 1888) por 151.

bloquear en la práctica la entrada de alumnos en la Escuela de Montes, en caso de que hubieran venido «adolecerían de graves defectos en sus estudios y tendencias, muy difíciles de extirpar». En cuanto a los que proclamaban «la necesidad de las matemáticas superiores en nuestra profesión», les respondía:

El Ingeniero de Montes no necesita más conocimiento que el de la Aritmética, Álgebra elemental, Geometría, Trigonometría, elementos de Geometría analítica y Geometría descriptiva. Con estos conocimientos bien fundamentados y demostrados en exámenes rigurosísimos quedan completamente satisfechas las necesidades en ciencias exactas del forestal.

Para justificar estas afirmaciones, Secall pasaba revista a los planes de estudio de las escuelas forestales más prestigiosas de Europa (las de Nancy, Eberswald, Aschaffenburg, Viena), poniendo especial atención en el contenido de las enseñanzas matemáticas, y concluía rotundamente:

Los argumentos de razón como los de autoridad llevarán siempre al que estudie la cuestión no perturbado el entendimiento con prejuicios a proclamar que los conocimientos que hoy se exigen en ciencias exactas para nuestra carrera rayan, por su gran extensión en cantidad y calidad, en lo ridículo.

En definitiva, a pesar de que en los exámenes de ingreso aparecían asignaturas de contenido matemático, esto se hacía para seguir la corriente a la tónica dominante en el conjunto de las ingenierías. Pero la opinión mayoritaria, entre el profesorado y los profesionales del ramo, era que las matemáticas debían limitarse a lo estrictamente necesario para las (reducidas) necesidades de la carrera forestal, debiendo ponerse el énfasis en los contenidos más propios de la especialidad, es decir, en las ciencias naturales.

Añadamos finalmente una observación sobre una ingeniería próxima a la de Montes, la de Agrónomos⁵⁴. La formación científica básica varió mucho a lo largo del tiempo, como resultado de los vaivenes legislativos y de las discusiones entre los profesionales del ramo acerca de la relación entre la formación científica y la de carácter práctico⁵⁵. El período en el que la formación científica de los aspirantes fue más amplia correspondió al de vigencia de la EGPIA. Pero no hemos sido capaces de encontrar rastros de polémicas específicas en torno a la formación matemática de los ingenieros agrónomos.

⁵⁴ La más joven de las ingenierías decimonónicas fue creada en 1855 (Escuela Central de Agricultura); el cuerpo aparece de facto en 1879, aunque no se reglamentó hasta 1887. Véase Jordi CARTAÑA: «Ingeniería agronómica y modernización agrícola», en M. Silva Suárez (ed.), vol. v, 2007b, pp. 449-505.

⁵⁵ Uno de los padres intelectuales de la enseñanza agronómica, Mariano Miguel de Reinoso, era partidario de que los profesores de la Escuela de Agricultura tuviesen una sólida formación científica. Véase M. M. REINOSO: «Sobre enseñanza agrícola profesional. Informe elevado al Excmo. Sr. Ministro de Comercio, Instrucción y Obras Públicas», *Boletín Oficial del Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas* (1850-1851).

III.3. *Ingeniería de Minas: escasos pronunciamientos sobre política educativa*

El cuerpo de ingeniería de Minas, creado como tal en 1833, ejerció una gran influencia sobre la política de los Gobiernos de España, especialmente perceptible en un siglo que fue testigo de la desamortización del subsuelo. Los ingenieros se pronunciaron e intervinieron decisivamente en las discusiones parlamentarias sobre las diversas leyes de Minas vigentes a lo largo del siglo XIX. Las numerosas páginas de sus sucesivos órganos de expresión y presión⁵⁶ nos muestran hoy la persistencia (y el éxito) de su actividad política.

Sin embargo, la constante y exitosa intervención de este colectivo de ingenieros en la política minera (e industrial) del país contrasta con la escasa atención que dedicaron a la política educativa de los Gobiernos en relación con la enseñanza de la ingeniería. Es cierto que en los *Anales de Minas* y en la *Revista Minera* hay bastantes páginas dedicadas a aspectos de detalle de la enseñanza en las diversas escuelas mineras, tanto a la Escuela de Ingenieros de Madrid como a las Escuelas de Capataces de Almadén, de Mieres, de Linares y de Cartagena. Pero —y sobre todo en contraste con la intensa contestación de los ingenieros de Caminos a las iniciativas gubernamentales más polémicas en materia de organización de las enseñanzas de ingeniería⁵⁷, que hemos examinado en el apartado dedicado a los ingenieros de Caminos— los de Minas se limitaron a reproducir, sin comentarios, algunos pronunciamientos de sus colegas de Caminos que habían aparecido en la *Revista de Obras Públicas*. Esto ocurrió, por ejemplo, en 1866, cuando la *Revista Minera*⁵⁸ reproduce sin comentario alguno el artículo «Sobre la reforma de la Facultad de Ciencias y de las Escuelas especiales», atribuido a Echegaray, aparecido en la *ROP* el mes anterior⁵⁹. Y también en 1868, cuando la *Revista Minera* reproduce también sin comentarios un fragmento de un artículo de la *ROP* criticando las medidas de Orovio para meter en cintura a las escuelas de ingenieros⁶⁰.

El mayor despliegue informativo que hemos encontrado en la *Revista Minera* dedicado a un acontecimiento de política educativa tiene lugar después de la *Gloriosa*, a la que por cierto la redacción de la revista no dedica comentario alguno, también en contraste con el alborozo con el que la *ROP* recibe este acontecimiento político⁶¹. La *Revista Minera* publica sin comentarlo uno de los decretos conocidos como «de

⁵⁶ *Anales de Minas* (1838-1846) y *Revista Minera* (1850-1936), principalmente. Ambas están digitalizadas en la web del Instituto Geológico y Minero de España (<<http://www.igme.es>>).

⁵⁷ Me refiero a la creación (1848) y cierre (1855) de la primera Preparatoria, a la obligatoriedad de cursar las asignaturas de carácter científico en la Facultad de Ciencias (1858 y 1866) y a la creación y desaparición de la EGPIA (1886-1892).

⁵⁸ T. XVII, n.º 397 (15-XII-1866), pp. 705-715.

⁵⁹ T. XIV, n.º 22 (15-XI-1866), pp. 261-265.

⁶⁰ «Reforma en la facultad de ciencias», *Revista Minera* (1868), p. 185.

⁶¹ «Los redactores de la *ROP* se adhieren plenamente a la revolución que acaba de triunfar en España; y hacer esta declaración es manifestarse fieles a las tradiciones liberales del Cuerpo de Ingenieros de Caminos», *ROP*, t. VI, n.º 20 (15-X-1868), p. 233.

libertad de enseñanza», que sobre educación promulga el Gobierno provisional en 23-X-1868, derogando la legislación reaccionaria de Orovio. Pocas páginas después reproduce un conjunto de artículos publicados en otros periódicos, con los que — suponemos— la redacción de la *Revista Minera* está de acuerdo⁶².

Por todo ello no debe extrañar que no hayamos sido capaces de encontrar, tras escudriñar los miles de páginas de las revistas mineras, testimonios significativos de discusiones acerca de la formación matemática de los ingenieros de Minas, más allá del seguidismo poco locuaz practicado en relación con los pronunciamientos de sus colegas de Caminos. Mencionemos, únicamente, algunos comentarios menores, como el que aparece en la sección «Variedades» [una especie de cajón de sastre] del número de la *Revista Minera* publicado en 1-X-1854⁶³, en el que además de pedir la supresión de la Escuela preparatoria se hacen algunas consideraciones interesantes acerca de la caracterización de la formación básica de los ingenieros de Minas, relacionándola con la de Caminos:

No podemos menos de llamar la atención de nuestros lectores, y especialmente la del entendido señor ministro de Fomento, acerca del artículo inserto en el número 18 de la *Revista de Obras Públicas* pidiendo la inmediata supresión de la Escuela preparatoria. Profundamente convencidos de la solidez de cuantos argumentos se exponen para combatirla, y habiendo visto prácticamente que con ella es inminente la ruina de nuestra Escuela especial de minas, cuyas cátedras han permanecido casi desiertas desde la creación de aquella, unimos nuestros deseos a los manifestados por tan estimable colega, a fin de que suprimiéndose dicha preparatoria se reforma el reglamento de la enseñanza en la Escuela de minas, aumentando a cinco años su duración para comprender en los primeros la geometría descriptiva, la mecánica general y los cálculos, aunque con extensión mucho menor que en la de caminos, cuyos estudios especiales giran después sobre la aplicación de las ciencias matemáticas, mientras que los de minas se desarrollan sobre la base de las ciencias químicas y naturales.

Pero en relación con este asunto no había unanimidad entre los ingenieros de Minas. En el número de 15-XI-1854⁶⁴ un suscriptor se manifestaba contra el pronunciamiento de la *Revista Minera* en favor de la supresión de la Preparatoria, abogando en cambio por su mantenimiento y conversión en algo parecido a la Politécnica de París. La carta venía precedida de un comentario de la redacción de la revista, matizando la oposición a la Preparatoria expresada en el número anterior:

⁶² Son estos artículos «Escuelas especiales» (*La Nación*) y «Los cuerpos facultativos civiles» (*La Opinión*). También se reproduce la carta enviada a la redacción por Anselmo Tirado [ingeniero jefe de Minas], contestando a un artículo publicado en *El Imparcial*, titulado «La libertad de enseñanza y las escuelas especiales». En estos textos se defiende que la existencia de las Escuelas especiales y la persistencia de los cuerpos facultativos son compatibles con la declaración de la «libertad de enseñanza». Todo este dossier, en la *Revista Minera*, t. XIX, n.º 443 (15-XI-1868), pp. 685-692 (el decreto) y 703-715 (los artículos y la carta).

⁶³ T. v, pp. 610-611.

⁶⁴ T. v, pp. 705-707.

En el caso de tener que manifestar terminantemente nuestra opinión, diremos que consideramos menos oportuna la supresión de la Escuela Preparatoria, a lo menos para las carreras de minas y caminos, que el que reciba modificaciones dando mayor extensión al programa de sus estudios: a ningún alumno de minas le sobrará nada de lo que hoy día se enseña en aquella Escuela con relación a las ciencias exactas, y por el contrario le falta bastante que aprender, con respecto a las ciencias físico-matemáticas y química.

En definitiva, los ingenieros de Minas gastaron sus mejores pólvoras en cuestiones de estricta política minera.

III.4. *Las matemáticas y los telegrafistas*

Aunque la ingeniería de Telecomunicación no sería creada hasta el siglo xx, su antecedente inmediato —el Cuerpo de Telégrafos— es de mediados del siglo xix⁶⁵. También en este ámbito de profesionales se produjeron algunas reflexiones o discusiones relativas a las matemáticas⁶⁶.

En *La Semana Telegráfico-Postal*, revista en la que exponían sus problemas y expresaban sus anhelos sobre todo los telegrafistas subalternos facultativos, Eduardo de la Cuesta⁶⁷ se hacía eco de las quejas de los telegrafistas ante la cantidad de conocimientos que debían poseer para ingresar en el cuerpo: «se admiran de que para ser telegrafista y obtener cinco mil reales escasos de sueldo y probabilidad de que este no mejore en muchos años, se necesita sufrir un examen poco menos difícil que para ingresar en cualquier otro cuerpo facultativo de más porvenir y descanso». De la Cuesta criticaba el desarrollo artificial de algunas teorías:

Es indudable que en este siglo se han hecho grandes adelantos en las ciencias; pero no es menos cierto que las teorías se han extendido demasiado sobre corolarios de poca importancia, pecando ya en difusas. [...] Hay hoy en día mucha ciencia, pero también mucha insustancialidad; se discurre mucho, pero se charla más.

Y pasaba a concretar su crítica en las enseñanzas de las matemáticas para telegrafistas:

Naturalmente, esto se extiende a todas las carreras, y así vemos que si antes, y concretándonos a las matemáticas, bastaba estudiar las teorías principales, de verdadera aplicación y fundamento para comprender y poseer bien las matemáticas mixtas, ahora es necesario gastar el tiempo y la paciencia en aprender otras que, por curiosas que sean, no son verdaderamente indispensables. [...] El que sigue una carrera determinada debe tomar de las matemáticas puras la parte indispensable para perfeccionarse en las mixtas, que han de ser la ocupación de su vida.

⁶⁵ S. OLIVÉ ROIG y J. SÁNCHEZ MIÑANA: «De las torres ópticas al teléfono: el desarrollo de las telecomunicaciones y el Cuerpo de Telégrafos», en M. Silva Suárez (ed.), vol. v, 2007b, pp. 551-608.

⁶⁶ Agradezco a Jesús Sánchez Miñana que me haya proporcionado las pistas para redactar las líneas que siguen.

⁶⁷ E. DE LA CUESTA: «Conocimientos que deben poseer los funcionarios del Cuerpo de Telégrafos», *La Semana Telegráfico-Postal* (1869), pp. 147-148, 159-161 y 165-167.

¿Cuál era, a su entender, la formación matemática más adecuada para un telegrafista?

Ahora bien; para ser un buen telegrafista, ¿se necesita poseer perfectamente las matemáticas puras? A la pregunta contestamos que bastaba que el examen versara sobre los elementos más necesarios de la aritmética, álgebra, geometría y trigonometría rectilínea y resolución de todos los cálculos aritméticos y algebraicos, hasta las ecuaciones de segundo grado inclusive, comprendiendo también los referentes a progresiones y logaritmos, y dando siempre la razón que hubiera para resolver los cálculos de este o del otro modo.

Los telegrafistas y los ingenieros industriales entraron en colisión a raíz de la creación de la Escuela de Ingenieros Electricistas de Ultramar (Real Decreto 3-I-1890). Los telegrafistas habían reclamado durante mucho tiempo la creación de una Escuela especial a semejanza de las ingenierías civiles⁶⁸, que cuajó cuando el político liberal Eduardo Vincenti Reguera, antiguo telegrafista, ocupaba la Dirección General de Administración y Fomento del Ministerio de Ultramar. La Escuela, cuyas enseñanzas debían durar dos años, fue diseñada minuciosamente por una comisión integrada por prestigiosos telegrafistas, entre los cuales se encontraban Antonino Suárez Saavedra y José Casas Barbosa⁶⁹. El «Dictamen de la Comisión para organizar la Escuela de Ingenieros Electricistas de Ultramar»⁷⁰, que establecía las líneas maestras del plan de estudios, contenía unas orientaciones relativas a las matemáticas, que seguían la tónica de la época, al separar nítidamente los papeles del científico y del ingeniero:

Nuestro criterio en este punto, inspirándose parcialmente en prácticas que vemos establecidas con gran fruto en el extranjero, es el de reducir a términos prudentes la iniciación científica en lo relativo a la enseñanza del análisis matemático, temerosos de consagrar a una estéril gimnasia intelectual el tiempo que el alumno puede dedicar con fruto a las materias de aplicación y a las prácticas asiduas, complejas y reiteradas que la misión del Ingeniero, que no es precisamente la del sabio, requiere.

A pesar del alborozo con el que los telegrafistas acogieron la creación de la Escuela de Electricistas⁷¹, esta no llegaría a ver la luz. En febrero de 1890 la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona protestaba contra la creación de la Escuela, pues «cercenaba las ya menguadas atribuciones que al Ingeniero Industrial se conceden, favoreciendo con marcado exclusivismo al Cuerpo Facultativo de Telégrafos»⁷². El turno de

⁶⁸ OLIVÉ ROIG y SÁNCHEZ MIÑANA, *op. cit.*, pp. 603-605.

⁶⁹ Véanse sus «Apuntes biográficos», redactados por Olivé Roig y Sánchez Miñana, en el volumen v de esta colección, pp. 707-708 y 635-636, respectivamente.

⁷⁰ Publicado en la *Revista de Telégrafos* (16-V-1890), pp. 153-157.

⁷¹ La *Revista de Telégrafos* dedicó varios números a saludar la creación de la Escuela (n.ºs 228 a 236, enero a mayo de 1890).

⁷² «Exposición dirigida a los ministerios de Ultramar y de Fomento, con motivo del Real decreto de 3 de Enero próximo pasado», *Revista Tecnológico-Industrial* (febrero de 1890), pp. 25-28.

partidos de la Restauración acabó con la discusión: en julio de 1890 cayó el Gobierno de Sagasta. Su sucesor (Cánovas) no volvería a hablar de la Escuela de Electricistas.

IV

NUEVO SIGLO: DEBATE UNIVERSAL ACERCA DE LA FORMACIÓN MATEMÁTICA DEL INGENIERO

Durante los decenios anteriores al cambio de siglo se produjeron importantes cambios políticos, sociales y militares, que trastocaron la correlación de fuerzas entre las potencias mundiales: unificación alemana, guerra franco-prusiana, guerra entre España y Estados Unidos... En las naciones que han sido derrotadas se generaliza la idea de que el resultado de la contienda no es tanto consecuencia de la debilidad militar como de otros factores más profundos. Y entre ellos se señala, con rara unanimidad, a la educación, y más en concreto a la educación técnica. Por ello se abre un debate prácticamente universal en torno a la educación técnica, que afecta ineluctablemente al papel que desempeñan las matemáticas en la formación de los ingenieros.

La preocupación por la formación matemática está presidida por la proclama de Alois Riedler («¡Basta de matemáticas!»):

Es preciso romper con el espíritu unilateral de la Universidad, que se ha adueñado de las Escuelas y prescinde de la realidad de las cosas. La Mecánica, la Física, la Termodinámica... se convierten en simples ejercicios matemáticos, falseando su propia naturaleza: los alumnos superan las dificultades del procedimiento matemático, pero no llegan a la entraña de las cosas, a conocer y dominar los fundamentos de estas ramas científicas⁷³.

Alois Riedler (1850-1936), profesor de construcción de máquinas en la Technische Hochschulen de Berlín, había visitado en 1893 la Exposición Universal de Chicago, habiendo quedado impresionado por el brillante papel que tenían los laboratorios en la educación técnica americana. Por ello clamaba contra el enfoque teórico y matemático en los cursos de ingeniería mecánica en Alemania, propugnando un mayor entrelazamiento entre los aspectos teóricos y los prácticos. Sus ideas influyeron decisivamente en la reorientación de la educación de los ingenieros alemanes⁷⁴.

⁷³ A. RIEDLER: «Zur Frage der Ingenieurziehung», *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, 39, Berlín (1895), pp. 951-959. Citado por J. G. Álvarez Ude en «La Matemática del Ingeniero», conferencia pronunciada en la Escuela de Ingenieros de Caminos en 5-V-1926.

⁷⁴ Riedler aplicaba la terminología darwiniana al hablar de «struggle for survival»: Alemania no está tan bien dotada de recursos naturales como sus competidores, así que está obligada a sobrepasarlos en destreza tecnológica. De este modo la educación fue considerada en Alemania como un importante factor de producción. Acerca de la educación de los ingenieros alemanes durante el período que estamos considerando véanse H.-J. BRAUN, 1986; W. WEBER, 1986, y W. KÖNIG, 1986; para las matemáticas véanse E. KNOBLOCH, 1989, y G. SCHUBRING, 1989.

Los debates más interesantes se producen con ocasión de encuentros y congresos internacionales. Uno de los más influyentes se produjo durante el encuentro de Glasgow (1901) de la British Association of Mathematics⁷⁵, que consagró el llamado «método de laboratorio» del profesor John Perry, que básicamente consistía en lo siguiente: el estudiante debe adquirir el conocimiento de cosas concretas, antes de exigirle que razona acerca de ellas; los alumnos deben ejercitarse en el cálculo numérico, omitiendo dificultades filosóficas que solo existen en la imaginación del profesor; los cálculos numéricos deben ser interpretados como aplicación de alguna fórmula; las ecuaciones deben manejarse como gráficas de funciones; deben suprimirse las demostraciones por razonamiento abstracto; la Geometría filosófica debe ser sustituida por la simple manipulación aritmética; deben eliminarse las excrecencias de la geometría del triángulo; la Geometría analítica queda subsumida en el manejo del papel cuadriculado.

Mi método —concluye Perry— se adapta bien a las facultades de los estudiantes de condiciones medias. El método ortodoxo se adapta bien solamente a los modos de pensar de los antiguos filósofos.⁷⁶

Los sucesivos congresos internacionales de la Enseñanza Matemática (Milán, 1911, y París, 1914) así como los congresos internacionales de Matemáticas (Roma⁷⁷, 1908; Cambridge⁷⁸, 1912, y Estocolmo, 1916) parecen confirmar las ideas de Perry relativas a la educación matemática del ingeniero.

⁷⁵ Las ponencias y debates de este encuentro fueron editadas un año después por John Perry. Véase J. PERRY: *Discussion on the Teaching of Mathematics. British Association – Meeting at Glasgow, 1901*, Belfast, Macmillan, 1902.

⁷⁶ Se refiere al estudio de las matemáticas a través de las obras de Euclides, práctica común en la Inglaterra de la época.

⁷⁷ M. D'OCAGNE: «Las matemáticas del ingeniero», *ROP* (1909), pp. 87-89, resumía los debates celebrados en el congreso de Roma sobre dicho asunto. Maurice d'Ocagne, profesor de la École Nationale des Ponts et Chaussées y de la Polytechnique, alcanzó celebridad durante estos años por haber creado la nomografía, que permitía resolver gráficamente problemas matemáticos y técnicos.

⁷⁸ Cecilio Jiménez Rueda, catedrático de la Universidad Central, coordinó un informe (*L'Enseignement des mathématiques en Espagne. Mémoires présentées au Congrès de Cambridge*, Madrid, 1912) que presenta un panorama amplio (aunque los trabajos son muy desiguales) de la situación de las matemáticas en la Universidad y en las Escuelas de Ingenieros. M. HORMIGÓN: «El affaire Cambridge: nuevos datos sobre las matemáticas en España en el primer tercio del siglo XX», en *Actas del V Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas* (separata), Murcia / Barcelona, 1989-1991, ha estudiado la actitud mezquina de determinados catedráticos de la Universidad Central, que hegemonizaron su presencia en la delegación española, en detrimento de Zoel García de Galdeano, catedrático de Zaragoza, probablemente el matemático español más interesante de su época.

IV.1. *Artículos en la ROP y conferencias en el Instituto de Ingenieros Civiles*

Nuestro país no es ajeno a los debates y reflexiones que en los congresos internacionales se suscitan sobre estas cuestiones. Los ingenieros de Caminos son quienes nos han dejado mayor testimonio a través de la *ROP* y de ciclos de conferencias celebradas en el Instituto de Ingenieros Civiles.

A lo largo de 1913 la *ROP* publicó un interesante y extenso artículo, «Principios de la moderna pedagogía matemática»⁷⁹, escrito por una de las personas más influyentes en estas cuestiones, Luis Gaztelu Maritorena, marqués de Echandía, ingeniero de Caminos que había sido profesor de Cálculo infinitesimal en la EGPIA antes de pasar a la Escuela de Caminos, de la que sería catedrático de Puentes y director. Gaztelu pasa revista al estado de la enseñanza de las matemáticas en los países más importantes, en los diversos niveles, desde el más elemental hasta el de la ingeniería. Gaztelu insiste en que sin una buena formación elemental no es posible que exista una buena enseñanza superior⁸⁰. Por eso dedica una de sus entregas a presentar profusamente el método de laboratorio de Perry, del cual se manifiesta profundo admirador. La serie concluye con un estudio especial de la situación en España, y muy particularmente de lo que se refiere a la enseñanza en la Escuela de Caminos, empezando con las academias preparatorias para el ingreso, con las que se muestra muy severo. Critica Gaztelu el defecto de partida de estos centros, cuyo objetivo no es la instrucción del alumno, sino conseguir buenos resultados en los exámenes. Y prosigue reprobando la composición de su profesorado —jóvenes ingenieros e incluso estudiantes de últimos cursos—, carentes de preparación pedagógica⁸¹.

En cuanto a las enseñanzas en la Escuela de Caminos, Gaztelu señala las diferencias existentes con las escuelas inglesas, en las que los tres grandes bloques de materias —las matemáticas puras, los estudios científicos (físicos, químicos y mecánicos) y las aplicaciones a la ingeniería— están entremezclados y se imparten simultáneamente. En España, por el contrario, esos tres bloques aparecen sucesivamente, siendo sobre todo muy marcada la separación entre las matemáticas puras y los otros dos bloques. Y esto para Gaztelu es desastroso:

Las Matemáticas puras se hallan en la base de los estudios de la Escuela, completamente aisladas e independientes de las demás materias, hasta tal punto que a primera vista parece imposible que, al estudiarlas, se puedan hacer los ejercicios de aplicación

⁷⁹ L. GAZTELU: «Principios de la moderna pedagogía de las matemáticas», *ROP* (1913), pp. 145-149, 193-197, 223-224, 234-237, 253-258, 303-306 y 320-322. Puede verse una breve biografía de Gaztelu en la necrológica que le dedicó la *ROP* en febrero de 1927, pp. 61-62.

⁸⁰ «Es inútil pretender que alcancen los estudios superiores un estado floreciente, mientras no se corrijan los defectos de la enseñanza elemental. Hay que reconstruir el edificio empezando por el cimiento, y mientras no se mejore la enseñanza elemental, en el árido campo de la Matemática española se seguirán cosechando los mismos menguados frutos que hasta ahora». GAZTELU, 1913, p. 305.

⁸¹ Gaztelu recuerda que oyó decir a un profesor inglés durante el Congreso de Cambridge que «los profesores de matemáticas elementales debían ser siempre viejos».

a la Física y a la Mecánica, que con tanta razón se recomiendan. En la segunda etapa ya aparece alguna simultaneidad entre las materias científicas y los estudios generales de Ingeniería. Las especialidades se encuentran acumuladas en los dos últimos años, y al llegar a esta última fase, resulta que, en varios años, no se han hecho otros estudios matemáticos que las aplicaciones accidentales.

[...] Nuestros alumnos invierten tres años, y a veces cuatro, en la contemplación de puras abstracciones, sin vislumbrar su finalidad, e ignorando por completo la naturaleza de las ocupaciones profesionales a que se han de dedicar en lo porvenir. De esto solo se dan cuenta imperfectamente en los últimos años, de suerte que no pueden averiguar si han acertado o errado su vocación, sino cuando la cosa ya no tiene remedio.

Consciente, sin embargo, de no poder plantear cambios revolucionarios, Gaztelu sugiere una serie de medidas que son compatibles con el hecho de que las matemáticas del ingeniero sigan estudiándose antes del ingreso y en el curso preparatorio, y que se refieren a la Geometría descriptiva, al Cálculo infinitesimal y a los estudios matemáticos exigidos para el preparatorio.

La Geometría descriptiva, nos dice Gaztelu, ha sido considerada como piedra de toque para entrar en la Escuela, puesto que se la considera como «el lenguaje del ingeniero». Pero un lenguaje puede enseñarse de diversas maneras: «en vez de dedicarse a resolver problemas geométricos complicados y artificiales, el futuro ingeniero debe utilizar esa materia para dibujar plantas, alzados y cortes de edificios, obras metálicas, de fábrica, de hormigón armado, máquinas de todas clases, grúas, andamios, etc. Esta clase de ejercicios tiene la ventaja de sacar al alumno de sus constantes abstracciones, poniéndole en contacto con la realidad, y de darle una idea más aproximada de sus futuras ocupaciones». En cuanto al Cálculo infinitesimal, cuyo programa juzga desmesurado, propone dedicarse a su parte más elemental, y sustituir los ejercicios abstractos por otros que involucren conocimientos sencillos de Física y de Mecánica: centros de gravedad, momentos de inercia, ecuaciones del movimiento de un punto, deformación de la fibra neutra de una viga sometida a flexión, etc.

También el Instituto de Ingenieros Civiles (IIC, en lo sucesivo) fue sensible a la preocupación por la formación matemática del ingeniero. En 1913 se pronunciaron varias conferencias sobre el tema, entre ellas la de Vicente Machimbarrena («La enseñanza memorista», 3-IV-1913) y la de Leonardo Torres Quevedo («La enseñanza de la ingeniería en España», 15-XI-1913). Al año siguiente el IIC creó, impulsada por Torres Quevedo, una Comisión Permanente de la Enseñanza, y organizó otra serie de conferencias sobre esta misma cuestión, las más importantes de las cuales fueron las pronunciadas por dos profesores de la Escuela de Caminos, Luis Gaztelu y Vicente Machimbarrena.

IV.1.1. Gaztelu: las matemáticas para aprender a mandar

La conferencia que pronunció Luis Gaztelu el 12-II-1914 se titulaba «Las Matemáticas del Ingeniero y su enseñanza», y apareció publicada en la *ROP* a la semana siguiente⁸².

⁸² L. GAZTELU: «Las Matemáticas del Ingeniero y su enseñanza», *ROP* (1914), pp. 91-97.

Por los contenidos y métodos que propone, así como por sus pronunciamientos explícitos, es, a mi juicio, uno de los textos más interesantes que se han escrito en España acerca del papel instrumental, profesional, ideológico y social que desempeñan las matemáticas en la formación de los ingenieros. La conferencia estaba organizada en colaboración con la Sociedad Matemática Española, de la que Gaztelu era vicepresidente. En la primera parte de su exposición se ocupa de la pedagogía matemática, declarando su adhesión a las ideas de Felix Klein, que acababa de ser elegido presidente de la Comisión internacional permanente de la enseñanza matemática⁸³. Después se propone «estudiar detenidamente cuál es la intervención de las matemáticas en los trabajos habituales de la práctica de la ingeniería en sus diversas especialidades para poder deducir qué matemáticas necesita el ingeniero, qué extensión proporcional conviene dar a cada una de las diversas ramas, y cómo se deben enseñar esas matemáticas».

Por supuesto, dice Gaztelu, que la matemática elemental, el Cálculo infinitesimal y la parte elemental de la Geometría descriptiva son imprescindibles para el ingeniero. Pero a veces los trabajos técnicos le conducen a problemas de carácter mucho más elevado:

Necesita conocimientos matemáticos suficientes para poder seguir el desarrollo de las aplicaciones científicas de su especialidad. Si a los Ingenieros que hicimos nuestros estudios hace treinta o treinta y cinco años nos hubieran limitado la instrucción matemática a lo estrictamente necesario para la práctica ordinaria de la profesión en aquella época, hoy nos encontraríamos en situación muy difícil y comprometida ante una multitud de problemas técnicos nuevos en cuya resolución tenemos que intervenir diariamente, por ejemplo los relativos a la electrotecnia. Y este daño sería mucho más sensible aun para los actuales alumnos dentro de muy pocos años, porque el movimiento de avance es visiblemente acelerado.

A continuación hace Gaztelu un elogio del espíritu matemático, y de la necesidad de dominar el lenguaje simbólico, sobre todo para una profesión como la del ingeniero, una de cuyas funciones más importantes es mandar y dirigir:

El ingeniero debe hallarse penetrado del espíritu matemático, que constituye el fondo de todos los trabajos técnicos de la ingeniería propiamente dicha. [...] Las matemáticas constituyen una preparación admirable para el uso de símbolos. En toda clase de negocios el desempeño de los cargos más elevados requiere el empleo de símbolos, mientras que los más humildes y menos retribuidos son los que obligan a manejar directamente los objetos reales. Así, el Director de una gran Compañía de ferrocarriles rige las actividades de millares de personas encerrado en su despacho y haciendo uso de símbolos, mientras los mozos de estación trabajan directamente con los objetos materiales, empujando los vagones. El capitalista archimillonario maneja todos sus

⁸³ En los años siguientes se popularizarían en España las ideas de Klein gracias a la traducción de su *Matemática elemental desde un punto de vista superior*, traducida por Roberto Araujo, y publicada en la Biblioteca Matemática que dirigía Julio Rey Pastor. Véase J. G. KÖNIG: «Influencia de Felix Klein en la cultura matemática de Alemania», *Revista Matemática Hispano-Americana* (1927), pp. 144-147.

fondos y dirige sus negocios por medio de símbolos, y solo sus servidores de orden ínfimo son los encargados de llevar y traer materialmente los sacos de plata o de calderilla.

Y prosigue con unas palabras que constituyen una declaración bien clara acerca de cuál es el papel ideológico y social de las matemáticas para el elitista grupo de ingenieros:

Y así puede observarse que tanto mayor es la necesidad del empleo de símbolos, cuanto mayor es la importancia del cargo y la amplitud e importancia de los negocios encomendados a quien lo desempeña. El estudio de las matemáticas habitúa a razonar constantemente con símbolos, y a pasar y repasar frecuentemente de los símbolos a su significación y viceversa; posee, por consiguiente, un alto valor educativo muy apropiado como preparación para una multitud de ocupaciones de carácter elevado y muy singularmente para la ingeniería.

Después de pasar revista a las principales opiniones que se manifestaron en el Congreso Internacional de la Enseñanza Matemática (Milán, 1911), Gaztelu presenta sus propias ideas acerca del contenido matemático de la formación del ingeniero: matemáticas elementales (Aritmética, Álgebra, Geometría, Trigonometría), que «se han de poseer a la perfección», pero... «deben suprimirse las *excrecencias*, que no le hacen falta al ingeniero... ni a nadie». Y aquí Gaztelu se refiere «a esa parte del Álgebra que impropiamente se ha llamado superior, la teoría general de las ecuaciones a la que se ha dado una extensión desmedida que nada justifica»⁸⁴. Obsérvese que aquí Gaztelu está cargando contra la parte de los programas de la que más orgullosos estaban los profesores de la generación de Echegaray, de la que más presumían en sus discusiones con la Facultad de Ciencias. Combate también Gaztelu el argumento de que «las innumerables reglas particulares minuciosas y los enojosos y áridos cálculos» suponen una «gimnasia intelectual muy útil», manifestando que «dentro del campo del Análisis hay ramas que pueden proporcionar al Ingeniero una gimnasia mucho mejor adaptada a sus necesidades». También es partidario Gaztelu de recortar la Geometría analítica —«basta conocer y manejar bien los sistemas de coordenadas cartesianas y polares»— y la Geometría descriptiva, el denominado «lenguaje del ingeniero», que era la auténtica pesadilla de quienes se preparaban para el ingreso en la Escuela, asignatura que Gaztelu sugiere «aplicar sobre todo a la representación de los objetos propios de la Ingeniería». Incluso el Cálculo infinitesimal, «que es para el Ingeniero el estudio más importante de las diversas ramas de matemáticas puras», debe reducirse, aunque sin descuidar la adquisición de sus fundamentos:

⁸⁴ Se habían llegado a publicar libros monográficos acerca de esta parte de las matemáticas, por ejemplo el que con el título de *Teoría general de ecuaciones* escribió FRANCISCO VERA en 1908-1909, destinado a la preparación para el ingreso en la Escuela de Arquitectura de Madrid (por lo tanto, nivel más bajo que para Caminos), redactado a partir del *Cours d'Algèbre Supérieure* de COMBEROUSSE, del *Tratato d'Algebra* de RUBINI, de la *Teoria delle equazione* de PINCHERLE, etc.

No basta ya que el alumno se ejercite y adquiera la práctica de los cálculos, sino que importa mucho que adquiera ideas muy claras de los fundamentos, no debiéndose omitir los desarrollos teóricos necesarios para conseguirlo, porque también esto es indispensable para comprender y aplicar bien la mecánica, que es el fin principal. Esta es la ocasión oportuna para que haga la gimnasia intelectual matemática de que antes hablábamos, y esta le aprovechará mucho más que el estudio y los ejercicios de resolución de ecuaciones.

Dedica Gaztelu la tercera y última parte de su conferencia a estudiar cómo se deben enseñar las partes de las matemáticas que ha determinado como necesarias para la formación del ingeniero. Critica duramente el estudio memorístico de los libros de texto, así como el hábito de «dar y tomar la lección», en el que «están trocados los papeles del maestro y del discípulo». Gaztelu se pronuncia a favor de asignar un lugar preferente a los ejercicios prácticos y problemas de aplicación, y del «empleo combinado del método heurístico con el método de laboratorio», para acabar con la enseñanza puramente pasiva. Por *método heurístico* entiende Gaztelu «guiar al alumno para que vaya descubriendo por sí mismo las verdades que se le quieren demostrar»; el *método de laboratorio* consiste en «la ejecución de ejercicios bien organizada, graduando sus dificultades y eligiéndolos con sano criterio».

Gaztelu finalizaba su conferencia llamando a «reconstruir los cimientos de nuestra enseñanza científico-técnica», para lo cual lo más urgente era mejorar la enseñanza elemental, «porque cuando la enseñanza elemental es defectuosa no se libra nadie del naufragio». Para ello instaba a la Sociedad Matemática Española y al Instituto de Ingenieros Civiles para ponerse de acuerdo en la divulgación y promoción en nuestro país de los nuevos métodos de enseñanza que ya estaban dando sus frutos en Inglaterra y los Estados Unidos.

Ese mismo año 1914 la Sociedad Matemática Española encargaba a Gaztelu la traducción y anotación de *Practical Mathematics*⁸⁵. En el prólogo —que sería publicado íntegramente al año siguiente en la *ROP*—⁸⁶ Gaztelu se manifestaba como firme seguidor del paladín del método de laboratorio, el «ilustre profesor John Perry, propagandista entusiasta de la reforma y vulgarización de la enseñanza matemática elemental y de la que tiene por objeto la preparación para las aplicaciones a las profesiones técnicas»⁸⁷. La aparición del libro vino seguida de una campaña conjunta de su

⁸⁵ J. PERRY, 1914. Menos difundido, ya que no se tradujo, es su *Calculus for Engineers* (1897), del cual hemos visto un ejemplar en la Biblioteca de la Escuela de Ingeniería Industrial de Barcelona. También ejerció una influencia notable en esta época un libro que sigue la línea de Perry: C. A. LAISANT: *Iniciación matemática*, París, Librería de la Vda. de C. Bouret, 1917.

⁸⁶ «Matemáticas Prácticas de John Perry. Traducido del inglés y anotado por D. Luis Gaztelu», *ROP* (1915), pp. 149-151 y 163-168.

⁸⁷ L. GAZTELU: «Prólogo del traductor», de Perry, 1914, pp. 5-12.

difusión por parte de las dos entidades involucradas en su publicación, la Sociedad Matemática Española y el Instituto de Ingenieros Civiles⁸⁸.

IV.1.2. Machimbarrena: «¡Basta de matemáticas!»

La más sonada de las conferencias del ciclo, la que alcanzó más repercusión por su carácter provocativo, fue la pronunciada en 4-V-1914 por Vicente Machimbarrena, titulada nada menos que «¡Basta de Matemáticas!»⁸⁹.

Comenzaba Machimbarrena su discurso señalando las preguntas a las que debía responderse:

¿Cuál es el papel que debe hacer la Matemática en los estudios de las ciencias que interesan al Ingeniero?

¿Hasta qué punto y en qué medida deben recurrir los Ingenieros en la práctica de su arte al uso de la Matemática?

De las diversas ramas de esta ciencia, ¿cuál es la que más se ajusta al espíritu y necesidades del Ingeniero?

¿En qué forma y con arreglo a qué métodos debe darse preferentemente esta enseñanza matemática?

¿Cuál es el momento oportuno en que los alumnos de nuestras Escuelas deben adquirir los conocimientos matemáticos?

¿En qué proporción armónica deben contribuir los estudios matemáticos a la cultura general del Ingeniero para conseguir el más perfecto equilibrio de sus facultades aplicadas al ejercicio de la profesión, partiendo del supuesto, ya universalmente admitido, de que dicha cultura debe ser no solo científica, sino también artística, social, etc.?

El autor creía tener «cierto derecho de prioridad en el planteamiento del problema», pues cuatro años antes, en otra conferencia relacionada con la formación del ingeniero, había ya criticado «el predominio excesivo que tienen las ciencias matemáticas en la cultura que se imparte en las Escuelas», y en la que había resumido muy bien su posición al respecto:

Hay que convencerse de que las abstracciones matemáticas llevadas a la exageración secan otras fuentes e iniciativas más fecundas en las aptitudes del Ingeniero, por lo cual conviene reducirlas a sus justos límites, pues para él esta ciencia es un instrumento de utilidad práctica, que solo con tal objeto debe conocer y estudiar.

⁸⁸ En el acta de la reunión de la Sociedad Matemática Española de 2-IV-1914 figura la nota titulada «Obra nueva», que dice así: «La Sociedad Matemática Española pone en conocimiento de sus miembros y público en general que se halla á la venta la tercera de las obras editadas por la misma: *Matemáticas prácticas*, por John Perry, traducción del inglés por D. Luis Gaztelu, Marqués de Echandía. Esta es la segunda de las obras de la serie de obras elementales que la Sociedad Matemática Española inició con el Cálculo infinitesimal al alcance de todos y que se propone continuar; está especialmente dedicada á los que desempeñen profesiones técnicas, y esperamos que la acogida que el público español le dispense secunde el éxito alcanzado por este libro en Inglaterra y en los Estados Unidos. El precio de cada ejemplar (308 páginas en 8.º mayor, con 51 figuras) es de 4,50 pesetas para los miembros de la Sociedad Matemática Española y 6 pesetas para el público».

⁸⁹ El Instituto de Ingenieros Civiles publicó la conferencia, en forma de folleto de 20 páginas, ese mismo año 1914.

La frase vulgar de *basta de matemáticas* es todo un programa pedagógico de actualidad en el estudio de la ingeniería.

Planteadas así las cosas, Machimbarrena expone «algunas consideraciones de carácter marcadamente filosófico acerca de la ciencia matemática», presentando a dos estereotipos de matemáticos, los *lógicos* y los *intuitivos*, dedicados preferentemente los unos al Análisis y los otros a la Geometría. El autor se pronuncia muy claramente por que los ingenieros estén mucho más cerca de los intuitivos o geómetras, porque, «aunque no definen los conceptos con tanto rigor como los exclusivamente lógicos, los resultados a los que llegan tienen una exactitud suficiente para las aplicaciones prácticas», poniendo en acción «los sentidos corporales y la imaginación al tiempo que la inteligencia». Los geómetras *ven en el espacio*, se forjan en su imaginación visiones claras y reales del conjunto de las cosas, y en cambio se pierden pronto entre el rimerero de fórmulas de largos y laboriosos cálculos. El rigor matemático solo se alcanza a expensas del contacto íntimo con la realidad tangible. Es cierto que por el camino del rigor la matemática se purifica, pero al mismo tiempo pierde en objetividad, y al perder los lazos que la unen con la impura realidad «toma la matemática un carácter sutil, no exento de peligros». Surge de este modo un antagonismo entre los idealistas matemáticos «y los que quieren a toda costa sacar a esta ciencia jugo práctico». Así, los idealistas, «totalmente emancipados de la realidad, se lanzan en el campo de las abstracciones a regiones ultraterrenales, cayendo en una especie de *misticismo matemático*».

Después pasa el autor a analizar «el concepto general que merecen las ciencias cuyo estudio interesa al Ingeniero»:

El factor común que caracteriza a los trabajos que realiza el Ingeniero en su profesión es el de la utilidad material inmediata. Las obras que por el momento no sean útiles, o que su utilidad inmediata sea puramente moral, caen fuera de la órbita del Ingeniero: los conocimientos científicos que le interesan serán exclusivamente los que tengan aplicaciones prácticas. El origen y la razón de ser de todas las ciencias que el hombre estudia se hallan en las necesidades de su vida; la ciencia que no se nutra con la savia vital de la naturaleza languidece y acaba por morir.

Y de las ciencias en general pasa Machimbarrena a las matemáticas:

La mayor parte de las matemáticas superiores abstractas, por carecer de aplicaciones prácticas, deben desaparecer del cuadro de estudios del Ingeniero, no solo por inútiles a este, sino casi por perjudiciales.

Pero que no se diga que «el estudio de las matemáticas constituye la mejor disciplina del entendimiento, su más saludable gimnasia», porque con ello se corre el peligro de que «con el abuso sobrevenga un desarrollo unilateral monstruoso, con raquitismo acentuado en otras facultades tan interesantes como esta para el Ingeniero»:

El Ingeniero, que en la vida social moderna es ante todo y sobre todo un hombre de acción, necesita una amplia y sólida cultura, mediante la cual tenga despierta, no solo la inteligencia, sino también la imaginación, la sensibilidad y los sentidos corporales, para recoger con rápida intuición y gran intensidad las impresiones de la realidad viva.

Es evidente —prosigue— que para lograr esto el ingeniero necesita poseer sólidos conocimientos matemáticos como base fundamental de su cultura, «estudiados con marcado acento geométrico, dando importancia especial a las representaciones gráficas». Pero esto no basta, es necesaria —diríamos hoy— una *formación integral*:

La inteligencia, y algo la imaginación, se ponen en juego en los estudios geométricos; pero deben ejercitarse también, al mismo tiempo que se desarrolla la sensibilidad, con estudios históricos, geográficos, sociales y artísticos, convenientemente especializados. Los primeros, en la historia de las ciencias y de las artes constructivas; los geográficos, con el examen y descripción de mapas y gráficos que fijen las zonas industriales, agrícolas, mineras, de obras públicas, geológicas, etc.; los sociales, con el estudio de la misión que corresponde al Ingeniero en los arduos problemas que actualmente se ventilan en las relaciones mutuas entre el capital y el trabajo, y los artísticos, con aplicación principal al dibujo necesario para la ejecución fácil de los proyectos, y al estudio de los múltiples estilos de las obras constructivas. Estos conocimientos de cultura general se deberán ir distribuyendo en todos los cursos de la carrera, para que al simultanearse con los especiales de la profesión, se obtenga un equilibrio armónico de facultades, sin nocivos desarrollos unilaterales.

Este mismo planteamiento lo aplica Machimbarrena a los conocimientos matemáticos. Al principio deberán darse tan solo los elementales, dejando los de orden superior para cuando lo requieran los estudios sucesivos.

El artículo prosigue con una especie de recapitulación en la que el autor vuelve a las preguntas planteadas al comienzo, para expresar su posición ante las mismas, que son las que ha ido desgranando a lo largo de su discurso. Machimbarrena señala el peligro que suponen los profesores que se especializan en matemáticas, que tienden instintivamente —seguramente con la mejor de las intenciones— «a no querer prescindir de los refinamientos propios con que se estudian actualmente las matemáticas superiores, y descuidan y hasta desprecian el lado práctico y utilitario, único que al Ingeniero interesa». Para remediarlo aconseja Machimbarrena implantar sistemas de enseñanza de las matemáticas «análogos a los ideados en Inglaterra por el profesor Perry», aludiendo a la memoria publicada el año anterior por Luis Gaztelu y a la conferencia que este había pronunciado en el mismo IIC unas cuantas semanas antes. El texto se cierra con una frase que el autor recoge de Henri Poincaré: «La lógica no basta, la ciencia de la demostración no es toda la ciencia y la intuición debe conservar su papel como complemento, mejor dicho, como contrapeso o como contraveneno de la lógica». Ello le permite insistir en su provocador mensaje:

En España la enseñanza de la ingeniería se encuentra desviada y hasta falseada por el abuso que en ella se hace de la Matemática, que nos tiene verdaderamente intoxicados, y por eso insisto en decir: «Basta de matemáticas».

IV.2. La polémica de José Serrat Bonastre con José de Igual (1908)

También en el ámbito de la ingeniería industrial se producen algunas polémicas sonadas. Vamos a analizar una de ellas, porque representa de modo paradigmático las dos posturas que tensan el equilibrio entre teoricismos y practicismo.

A principios de 1908 el ingeniero industrial José de Igual Martínez⁹⁰ escribe en *Ingeniería*⁹¹ un artículo titulado «Evolución de los estudios científicos. Su desarrollo en España», que desencadenará una intensa discusión con José Serrat Bonastre⁹². Comienza Igual preocupándose por la relación entre las matemáticas y los desarrollos de la ingeniería:

Interesa a los ingenieros especialmente revisar la parte histórica de nuestros conocimientos, para comprobar si nuestros estudios matemáticos son herramientas necesarias recogidas del terreno especulativo por las necesidades de nuestra vida, o son, por el contrario, el espíritu de una realidad idealizada que ha fecundado el terreno de las aplicaciones prácticas. [...] Y esto nos interesa porque ha llegado el momento de una revisión en el orden de nuestras enseñanzas.

Prosigue Igual criticando

los planes antiguos con sus viejos métodos de enseñanza, en los que dominaba el criterio clásico razonador, rehacio [sic] a dejarse suplantar por los métodos experimentales modernos que llevan el espíritu de observación hasta las investigaciones que antes parecían más especulativas y teóricas. Nuestros ingenieros salen con estudios prácticos deficientísimos, y en cambio recargados con exceso de teorías y desarrollos matemáticos. Las Matemáticas deberían ser las suficientes, y nada más, para la coordinación y proporción de las aplicaciones prácticas. El exceso de desarrollos matemáticos separa la atención de la realidad, porque dejándose llevar la imaginación por divagaciones teóricas rara vez en las diversas etapas del razonamiento coincide el resultado teórico con la experiencia, y hemos de acudir forzosamente a cifras correctivas. El cálculo ha de partir inmediatamente del hecho, y cada vez que se aleja o entran nuevos hechos, hay que confrontar y comprobar los resultados, para que la generalización y el cálculo no nos separen de la realidad y nos lleven a divagaciones irrealizables.

Después de estas afirmaciones, Igual «emprende un bosquejo histórico», para demostrar que

no han sido los tiempos más progresivos aquellos en que la especulación de los estudios alcanzó mayores proporciones, y sí lo han sido aquellos en que la observación de la realidad produjo sus maravillosos resultados.

⁹⁰ José de Igual Martínez (1875-1916), titulado por la Escuela de Barcelona en 1902, fue profesor de la Escuela Central de Artes Industriales de Madrid, presidente de la Asociación de Ingenieros Industriales y del Instituto de Ingenieros Civiles. También se dedicó a la política, siendo diputado al Congreso por el Partido Conservador entre 1907 y 1915.

⁹¹ *Ingeniería*, n.º 103 (10-II-1908), pp. 37-39; n.º 104 (20-II-1908), pp. 49-51; n.º 106 (10-III-1908), pp. 73-75.

⁹² José Serrat Bonastre (1869-1946), que fue profesor de la Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao, presidente de la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona y de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, desarrolló una intensa carrera profesional como «ingeniero calculador» y director técnico de La Maquinista Terrestre y Marítima. Véase E. FREIXA: «Josep Serrat i Bonastre. Una víctima de la manca de productivitat», en *Quatre enginyers per a la història*, Barcelona, Associació i Col·legi d'Enginyers Industrials, 1990, pp. 146-197.

El «bosquejo» va de la ciencia griega al Renacimiento, pasando levemente por el «infecundo proceso de la Edad Media». Igual se detiene largamente en la figura de Francis Bacon, de quien nos recuerda de pasada su opinión acerca de las matemáticas:

La ciencia matemática es sierva de la filosofía natural; fuerza es que permanezca en su lugar y no tenga la osadía de colocarse donde su señora.

En el proceso de creación de la ciencia y de la industria modernas «poco o nada se debe a las altas matemáticas», prosigue Igual:

El trabajo, la observación y la experiencia van a fuerza de tanteos labrando los cimientos de nuestro actual bienestar; los inventores no son sabios en el estricto sentido de la palabra; son generalmente obreros inteligentes que no necesitan fijar su atención en los profundos misterios de la filosofía.

Termina Igual su «bosquejo histórico», y recoge unas palabras de José Tous⁹³, profesor de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, en las que afirma:

Los desarrollos matemáticos excesivos solo consiguen derivar la atención del verdadero problema; los hechos más sencillos pueden hacerse perder de vista bajo un cúmulo de tropiezos matemáticos; por ello en aquellas naciones que no tienen o han podido sacudir la tradición filosófica, como los Estados Unidos o Inglaterra, han progresado tanto y tan rápidamente las artes mecánicas, mientras que es en la infecunda rutina de los estudios memoristas y razonadores donde reside la causa de la inferioridad de nuestros Ingenieros.

Y afirma después Igual (el énfasis es mío):

Demostrarlo todo y fundamentar cada punto; he aquí la obsesión clásica que nos invade y nos abarrota la memoria de demostraciones intrincadas, en las que se acude, con tal de llegar al (l. q. q. d.), a las más alambicadas combinaciones, quitando y poniendo términos, introduciendo relaciones, agarrándose al cálculo infinitesimal como panacea demostrativa al estilo de los desacreditados silogismos de antaño; y al final la pícarra realidad acaba diciéndonos que aquello es inútil para las aplicaciones prácticas, y que solo como ejercicio intelectual procede recomendárselo a los sabios de gabinete. ¿Debe el Ingeniero abandonarse a esa manía razonadora a expensas del ejercicio práctico de la carrera? ¿Sería lícito privar a un negociante del cálculo de intereses y amortizaciones porque no sabe la teoría analítica de los logaritmos, o a un cocinero del uso del combustible porque ignora la teoría de la combustión? [...] *En España necesitamos menos sabios y más practicones, menos cálculo diferencial y más aritmética y geometría.* [Por eso fue un gran error que] al crear los estudios de ingeniería se adaptasen al método discursivo y memorista, y que el prestigio de las Escuelas se fundase en la dificultad del ingreso por el conocimiento extensivo de las altas matemáticas.

Acto seguido, Igual pasa a criticar la enseñanza que recibió en la Escuela de Barcelona:

⁹³ J. Tous: «Influencia de la Mecánica en el progreso industrial y sentido que ha de tener su enseñanza», *Revista Tecnológico-Industrial* (abril-mayo de 1905) (es su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona).

Este afán de cultivar las altas especulaciones matemáticas llega al extremo ridículo que tenía lugar en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, donde se exigía para el ingreso como primera geometría la Analítica, prescindiendo de la geometría elemental o general, ingresando los alumnos sin saber resolver el área de un polígono ni el trazado de una perpendicular. Se ingresaba después del árido período de la preparación a matemática seca, abismo en que caíamos y nos levantábamos, llena nuestra imaginación de series, desarrollos, integrales, momentos, cantidades imaginarias e inconmensurables, curvas, proyecciones, raíces y demás artículos preparatorios cuya aplicación era por entonces un enigma y muchos de ellos siguen siéndolo todavía. Dentro de la Escuela, si bien es verdad que el carácter de las asignaturas cambiaba, lo cierto es que continuaba el mismo criterio razonador y memorista, alejado de la realidad y la experiencia.

El artículo finalizaba denunciando que «se obtenía el título de Ingeniero mecánico sin haber estudiado turbinas, ni máquinas de gas... ni ¡máquinas de vapor!».

Lamentablemente, gran parte del artículo de respuesta de Serrat, titulado «La enseñanza en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona»⁹⁴, está dedicada a rebatir la provocadora afirmación de que «los alumnos que ingresaban no sabían trazar perpendiculares» y a demostrar que en la Escuela de Barcelona sí que se estudiaba la máquina de vapor. Menos afortunada aún es la incursión de Serrat en el terreno de la anécdota chismosa, al sugerir que el ataque de Igual a la Escuela

produce la impresión de un inconsciente desahogo contra pasados sinsabores, resultado de ciertos disgustos que en nada merman el prestigio del joven diputado, pero que constituyen la única explicación satisfactoria del estado de ánimo de un compañero que se ensaña contra la enseñanza que se daba en la Escuela de la que ha salido⁹⁵.

Lo más interesante para nosotros de la respuesta de Serrat son los breves párrafos en que responde a la pregunta de Igual acerca de la utilidad de las series, integrales, etc.

Al leer este párrafo llegaríamos a dudar si realmente su autor se honra con el título de Ingeniero. Porque eso de considerar como un enigma la aplicación de *curvas*, *proyecciones* y *momentos*, que en la práctica de nuestra carrera nos salen al paso constantemente, y aun de las mismas series e integrales, es tan absurdo como si un farmacéutico se preguntara para qué sirve la nomenclatura química. Pues bien, en diez y siete años que llevamos de ejercicio práctico en talleres de construcción mecánica podemos afirmar que las curvas, momentos y proyecciones han sido nuestro pan diario, y que muy a menudo hemos tenido que recurrir a series e integrales. De no hacerlo así, ¿sabría decirme el señor de Igual cómo hallaría el momento de inercia de una sección de contorno mixtilíneo con porciones hiperbólicas o parabólicas, como se presentan al estudiar las condiciones de estabilidad de buques o grúas flotantes? ¿Cómo puede estudiarse un caso de

⁹⁴ Publicado en *Ingeniería* (1908), pp. 150-152, y en el *Boletín Industrial*, n.º 5 (mayo de 1908), pp. 66-69. La *Revista Tecnológico-Industrial* publicó una breve nota alusiva, renunciando a su publicación «ya que todos sus lectores recibían también el *Boletín Industrial* de Madrid».

⁹⁵ Serrat da a entender que Igual tuvo problemas para aprobar determinadas asignaturas. Igual contestará airado y orgulloso: «caí, tengo cierta satisfacción en decirlo, donde debí caer».

flexión con empotramiento y con cargas en posiciones no estudiadas en los formularios corrientes? El estudio sobre puentes en curva que publicamos⁹⁶ en 1906, ¿cómo podría llevarse a cabo sin recurrir al cálculo integral, y cómo podría comprobarse la exactitud del método aproximado sin recurrir a desarrollos en serie? Y, sin embargo, el trabajo original que nos sirvió de guía no era una Memoria académica, sino los cálculos justificativos de un puente del ferrocarril directo de Madrid a Barcelona.

La polémica continuó durante algún tiempo⁹⁷, siendo zanjada con firmeza por los directores respectivos de las revistas involucradas, que sin duda temían el envilecimiento del debate.

IV.3. Cierre con siete llaves al sepulcro de la Polytechnique: el discurso de André Pelletan

Como vemos, en Barcelona los ingenieros industriales también reflexionan acerca de las reformas que el nuevo siglo exige en la formación técnica. La *Revista Tecnológico-Industrial*, órgano de la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona, publica entre 1902 y 1910 un conjunto de artículos que se interesan por las enseñanzas técnicas en los países más desarrollados, con ánimo de aplicar lo mejor de cada país a la necesaria y entonces previsible reforma de nuestras enseñanzas⁹⁸. Los autores —la mayor parte de ellos profesores de la Escuela— se mostraban especialmente interesados por los modelos alemán, inglés y estadounidense⁹⁹. En enero de 1908 aparece «Desarrollo de la Enseñanza Técnica Superior en Alemania», extracto del Informe presentado al Ministerio de Instrucción Pública tras su viaje de ampliación de estudios al extranjero por Álvaro Llatas, catedrático de la Escuela de Ingenieros de Barcelona, que explicaba así la evolución de las escuelas técnicas alemanas, desde una enseñanza muy teórica de tipo universitario hacia la construcción de una auténtica ciencia del ingeniero¹⁰⁰. Sus palabras son muy interesantes, porque describen claramente el tránsito del modelo francés (École Polytechnique) al modelo alemán (Hochschule):

Al empezar, durante el primer tercio del siglo XIX, la enseñanza se componía de conocimientos matemáticos de las universidades y estudios rudimentarios tecnológicos tomados de la práctica de entonces, completamente en el dominio del empirismo. Pronto llegaron a formar una ciencia técnica propia que trató de apartar el empirismo

⁹⁶ «Cálculo de las vigas principales de los puentes de ferrocarril», memoria técnica de Serrat publicada en la *Revista Tecnológico-Industrial* (1906), pp. 1-19.

⁹⁷ *Ingeniería* (1908), pp. 161-164 y 174-175; *Boletín Industrial* (1908), pp. 83-90.

⁹⁸ Con ello se abría un período de discusión acerca de las características deseables tanto de los centros de enseñanza como de sus planes de estudio y de la relación entre los diversos niveles de las enseñanzas técnicas. Las Escuelas de Ingenieros Industriales verán reformados sus planes de estudio en 1902 y en 1907, pero el debate en las Escuelas y en las Asociaciones de Ingenieros seguirá durante mucho tiempo, pues las reformas se juzgan insuficientes e insatisfactorias.

⁹⁹ Véase G. LUSA, 1994c.

¹⁰⁰ *Revista Tecnológico-Industrial* (1908), pp. 1-32.

de la enseñanza. Al transformarse las escuelas en superiores, a mediados del siglo XIX, se despertó en ellas un celo científico que condujo a dar a la enseñanza un carácter poco adecuado, al darse a la abstracción y a la deducción una excesiva importancia. Esto llevó a un aislamiento con la práctica. Pero algunos profesores que estaban en íntima relación con la práctica industrial, después de alguna resistencia por parte de quienes solamente teorizaban, consiguieron restablecer la enseñanza sobre bases que respondieran a las exigencias de la industria, ampliando la enseñanza constructiva, creando laboratorios y adoptando un personal que poseía a un tiempo conocimientos científicos y prácticos. Se han reducido desde entonces las lecciones orales, dando lugar preferente a la enseñanza de proyectos y prácticas de laboratorio. Así pudieron formarse ingenieros capaces de sostener con éxito la competencia con el extranjero.

En 1909 se publica «La enseñanza técnica superior en los Estados Unidos»¹⁰¹, extracto realizado por el profesor Cayetano Cornet Palau de un artículo de R. MacLaurin, rector del Massachusetts Institute of Technology, publicado en la *Revue Scientifique* (16-I-1909). Sorprendentemente, en relación con el tono general de las opiniones de los articulistas, tanto el autor como su cronista hacen una «defensa de la teoría»:

Es necesario abandonar el camino de la rutina y adquirir sólidos conocimientos científicos. Las escuelas deben consagrar todas sus fuerzas a la enseñanza de los principios fundamentales. En las escuelas de más reputación se han hecho esfuerzos para no sacrificar la parte teórica a la práctica y viceversa. Aunque hay partidarios de un sistema de pura práctica, las personas más competentes observan que el hombre que ha recibido una fuerte instrucción teórica puede vencer sin gran esfuerzo a un rival que haya recibido una instrucción puramente práctica, ya que la altura de miras le permite resolver mejor los nuevos problemas que inevitablemente se presentan, a consecuencia del rápido progreso de la ciencia y de la industria.

Es, de nuevo, una muestra de la persistencia de esa «dialéctica» originaria de la que hemos hablado, de esa tensión permanente entre los dos mandatos, el «teoricista» y el «practicista». Pero a pesar de esto, la opinión mayoritaria de los estudiosos estaba en contra del viejo modelo teoricista, que había deslumbrado al mundo durante el siglo XIX, y que tan bien encarnaba la Polytechnique.

El testimonio más significativo del cambio de modelo educativo que se estaba produciendo durante estos años en las escuelas de ingenieros de todo el mundo nos vino precisamente de Francia, de André Pelletan, subdirector de la Escuela de Minas de París. Pelletan había sido comisionado en 1906 por el Ministerio de Obras Públicas francés para estudiar los laboratorios de las escuelas alemanas, publicando las impresiones de su viaje en la *Revue de Métallurgie* (1906). En 1910 apareció en la *Revista Tecnológico-Industrial* el artículo «La formación de los Ingenieros en Francia y en el extranjero»¹⁰², resumen de la conferencia del mismo título pronunciada por Pelletan en la Sorbona. Durante las décadas siguientes las palabras de Pelletan ejer-

¹⁰¹ *Revista Tecnológico-Industrial* (1909), pp. 73-78.

¹⁰² *Revista Tecnológico-Industrial* (1910), pp. 287-301.

cerían una notable influencia sobre las personas preocupadas por la formación de los ingenieros¹⁰³.

Pelletan comienza constatando la decadencia francesa en el terreno industrial, cuya causa reside a su juicio en la insuficiencia de su enseñanza técnica. Al pasar luego revista a los métodos de formación de ingenieros en Alemania y en Estados Unidos hace notar que en estos países la instrucción matemática está completamente dirigida a la práctica, excluyéndose de ella toda teoría puramente especulativa, e incluso «no preguntando sobre la teoría», concentrándose en los problemas y en las aplicaciones prácticas.

Examina Pelletan el estado de la enseñanza en Francia, criticando severamente el sistema de ingreso en la Polytechnique: el aspirante, después del bachillerato, entra en una clase de matemáticas especiales. Al final del año se presenta, por pura fórmula, al examen y es rechazado en un 95 % de los casos, con lo que hay que repetir muchas veces los estudios para poder ingresar. Esto sirve para hacer perder al alumno el gusto por la ciencia, y

hace penetrar las matemáticas en los cerebros más rebeldes como entra el clavo en la madera más dura a fuerza de martillazos. Los más veteranos acaban por derrotar a los más jóvenes, aun a los más inteligentes. La selección se efectúa por antigüedad, y el nivel descende. La mayor parte de estudios son del dominio de la especulación pura, sin utilidad real alguna. Los asuntos más sencillos y más claros dan lugar a un análisis refinado: no son más que abstracciones quintaesenciadas por lo que la metafísica tiene de más sutil. Toda la enseñanza está falseada por la idea de preparación para el examen. La importancia de una pregunta no es su importancia real, educadora, científica o práctica, sino su importancia en el examen. Cada examinador forja para su uso personal cierto número de pequeños acertijos que presenta eternamente a los candidatos y que no tienen más valor científico que los jeroglíficos y rompecabezas que figuran en la última página de ciertos periódicos.

¿Y qué les espera a los candidatos triunfantes cuando llegan a la Politécnica?

Una enseñanza enciclopédica de Facultad de Ciencias —se responde Pelletan— mezclada con arte militar y con restos de la instrucción técnica de la Escuela de Obras Públicas, conservada piadosamente hasta nuestros días, lo que explica la rareza e incoherencia de los programas. Los sistemas de enseñanza son los del siglo XVIII. Se enseñan las matemáticas superiores sin aplicarlas, con lo que después de cinco años de cálculo diferencial e integral nuestros jóvenes son incapaces de resolver un problema corriente.

¹⁰³ Esta conferencia fue frecuentemente citada en los artículos que sobre la cuestión de la reforma de las enseñanzas técnicas continuaron apareciendo en los años siguientes. Todavía habla de ella José Serrat Bonastre en «La reforma de la enseñanza técnica y las conferencias del Instituto de Ingenieros Civiles», *Revista Tecnológico-Industrial* (marzo de 1914), pp. 42-67. La referencia a Pelletan más avanzada cronológicamente que tengo localizada es la que hace Paulino Castells en su memoria «La preparación matemática en la carrera de ingeniero», leída en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona el 15 de enero de 1932.

Y concluye duramente Pelletan:

La École Polytechnique no es hija de la Revolución, sino del 18 de Brumario¹⁰⁴. Es una aberración haber establecido la confusión entre la enseñanza técnica y la enseñanza de las ciencias puras, haber colocado una facultad de ciencias bajo la autoridad militar y querer formar jóvenes sabios como se educan los sargentos en la escuela del regimiento. ¿Cómo puede aún creerse que l'École Polytechnique es la primera del mundo y que el universo nos la envidia?

¿Qué hacer con la Polytechnique?, se pregunta Pelletan a la hora de hacer sus propuestas de futuro.

Hay que hacer una gran escuela al estilo de los alemanes o americanos, abierta a todos, donde se entre por un simple examen en vez de un concurso. La duración de los estudios sería de cuatro años con especialización, y después para los que quieran seguir los estudios superiores habría una Politécnica, pero distinta de la actual.

Y termina de forma optimista:

Tenemos una población joven, ardiente e infatigable que se precipita al asalto de la ciencia. ¿Por qué tenemos una industria mediocre y una mala instrucción técnica? Nuestro gran enemigo es la rutina y la falta de método. Pisoteemos los prejuicios, los dogmas intransigentes y el detestable espíritu de cuerpo. Solo a este precio seremos vencedores.

El Primer Congreso Nacional de Ingeniería, celebrado en Madrid en 1919, sancionaría definitivamente el giro hacia las matemáticas específicas del ingeniero, manifestando su seguimiento del programa de John Perry¹⁰⁵:

Las matemáticas superiores deben ser para el ingeniero «un útil de trabajo, ahorrador de tiempo y de pensamiento». La enseñanza de las matemáticas debe pues limitarse a cubrir esa finalidad; en cuanto a su aspecto formativo, uno de sus principales objetivos es el desarrollo de la intuición, imprescindible para que el ingeniero perciba simultáneamente las relaciones entre el mundo real y las abstracciones de la ciencia.

Pero eso es ya otra historia...

BIBLIOGRAFÍA

BRAUN, Hans-Joachim: «Technological education and technological style in german mechanical engineering, 1850-1914», en M. Kranzberg (ed.), 1986, pp. 33-40.

¹⁰⁴ El 18 de brumario del año VIII de la República (9-XI-1799) el general Napoleón Bonaparte dio un golpe de Estado contra el Directorio. Con ello se cierra el decenio de la Revolución francesa, y se abre camino al Imperio napoleónico.

¹⁰⁵ M. GÓMEZ CASTAÑO: «Bases para la reforma de la Enseñanza Técnica Superior», Primer Congreso Nacional de Ingeniería, Madrid, 1919.

- GARMA, Santiago, y Guillermo LUSA: «Laur Clariana i Ricart (1846-1916). L'assimilació de la matemàtica del segle XIX», en J. M. Camarasa y A. Roca (dirs.): *Ciència i tècnica als Països Catalans. Una aproximació biogràfica*, Barcelona, Fundació Catalana per a la Recerca, 1995, pp. 523-564.
- GARRABOU, Ramón: *Enginyers industrials, modernització econòmica i burgesia a Catalunya*, Barcelona, L'Avenç, 1982.
- KNOBLOCH, Eberhard: «Mathematics at the Berlin Technische Hochschule/Technische Universität. Social, institutional and scientific aspects», en *The History of Modern Mathematics*, Boston, Academic Press, 1989, vol. II, pp. 250-284.
- KÖNIG, Wolfgang: «Science and practice: key categories for the professionalization of german engineers», en M. Kranzberg (ed.), 1986, pp. 41-47.
- KRANZBERG, Melvin (ed.): *Technological Education-Technological Style*, San Francisco, San Francisco Press, 1986.
- LECLERC, Max: *La formation des ingénieurs à l'étranger et en France*, París, Armand Colin, 1917.
- LUSA, Guillermo: *Las Matemáticas y la Ingeniería Industrial 1850-1975*, tesis doctoral, Barcelona, Universitat Politècnica de Catalunya, 1975.
- «Evolución histórica de la enseñanza de las Matemáticas en las Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros Industriales», en *Reunión de Departamentos de Matemáticas de Escuelas Técnicas Superiores de Ingenieros Industriales*, Universidad de Santiago, 1982, pp. 1-93.
 - «Las Matemáticas en la Ingeniería: el Cálculo infinitesimal durante la segunda mitad del siglo XIX», en J. M. Camarasa *et al.* (coords.): *I Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona / Mahón, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, 1994a, pp. 263-282.
 - «Industrialización y educación: los Ingenieros Industriales (Barcelona, 1851-1886)», en R. Enrich *et al.* (eds.): *Tècnica i societat en el món contemporani*, Sabadell, Museu d'Història, 1994b, pp. 61-80.
 - «Contra los titanes de la rutina. La cuestión de la formación matemática de los ingenieros industriales (Barcelona, 1851-1910)», en S. Garma, D. Flament y V. Navarro (eds.): *Contra los titanes de la rutina*, Madrid, Comunidad de Madrid / CSIC, 1994c, pp. 335-365.
 - «La Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. v: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007b, pp. 351-394.
- PERRY, John: *Matemáticas prácticas*, traducido y anotado por L. Gaztelu, Madrid, Fortanet, 1914.
- PESET, José Luis, Santiago GARMA y Juan Sisínio PÉREZ GARZÓN: *Ciencias y enseñanza en la revolución burguesa*, Madrid, Siglo XXI, 1978.
- PESET, Mariano, y José Luis PESET: *La Universidad española (siglos XVIII y XIX)*, Madrid, Taurus, 1974.

- SCHUBRING, Gert: «Pure and applied mathematics in divergent institutional settings in Germany: the role and impact of Felix Klein», en *The History of Modern Mathematics*, Boston, Academic Press, 1989, vol. II, pp. 171-211.
- SILVA SUÁREZ, Manuel (ed.): *El Siglo de las Luces: de la ingeniería a la nueva navegación*, vol. II de *Técnica e ingeniería en España*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005.
- (ed.): *El Ochocientos. Pensamiento, profesiones y sociedad*, vol. IV de *Técnica e Ingeniería en España*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007a.
- (ed.): *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, vol. V de *Técnica e ingeniería en España*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007b.
- y Guillermo LUSA: «Cuerpos facultativos del Estado *versus* profesión liberal: la singularidad de la ingeniería industrial», en M. Silva Suárez (ed.): vol. IV, 2007a, pp. 323-386.
- WEBER, Wolfhard: «German “Technologie” versus french “Polytechnique” in Germany, 1780-1830», en M. Kranzberg (ed.), 1986, pp. 20-25.

6

La formación matemática en la ingeniería

Fernando Veá Muniesa y M.^a Ángeles Velamazán Gimeno
Universidad de Zaragoza

El objetivo del presente capítulo es documentar qué matemáticas se necesitaban para la obtención del título de ingeniero en las diferentes especialidades que se crearon en el XIX. Como cada especialidad siguió su propio proceso constitutivo y formativo, para su estudio, teniendo en cuenta hechos significativos en dicho proceso, se va a establecer una división cronológica de la centuria en cuatro períodos: «El primer tercio del siglo XIX (1800-1833)», «Los liberales llegan al poder (1833-1857)», «De la Ley Moyano a la Restauración (1857-1874)» y «La Restauración borbónica (1874-1900)».

Dentro de cada uno de ellos, centrándonos en las matemáticas, se abordan los contenidos exigidos en el examen de ingreso o los impartidos en los cursos a través de los libros de texto señalados para su estudio. Así mismo, se analizan las matemáticas impartidas tanto en las academias militares, fundamentalmente las de Artillería e Ingenieros¹, como en la segunda enseñanza y en la Facultad de Ciencias en relación con las exigidas para el acceso a las escuelas especiales o las estudiadas en los cursos preparatorios.

Al margen de la formación militar, con arraigo y desarrollo ya en el siglo XVIII, el comienzo de la modernización educativa española hay que establecerlo en el tercio final de dicho siglo², con la inclusión de las matemáticas en la enseñanza universitaria y en centros semioficiales. La institucionalización de la formación matemática española se va a desarrollar en el XIX, especialmente con la llegada de los liberales al poder tras la muerte de Fernando VII. Así, la primera enseñanza aparece ya regulada en la ley de 21 de julio de 1838 y el Reglamento de las Escuelas Públicas de Instrucción Primaria Elemental de 26 de noviembre de 1838, que sirve de referencia para el

¹ En algún momento se harán referencias a Estado Mayor, Caballería e Infantería, pero no se va a entrar a valorar la formación de los marinos españoles. Sobre estos puede consultarse el trabajo de F. J. GONZÁLEZ GONZÁLEZ, 1990.

² Sobre las matemáticas del siglo XVIII, su enseñanza y la introducción de algunos temas como el cálculo diferencial e integral, véase V. ARENZANA HERNÁNDEZ, 1987, y N. CUESTA DUTARI, 1985.

conocimiento de las matemáticas cursadas en las escuelas durante el período 1836-1857³. De este modo, se distribuyen las materias de la primera enseñanza en dos niveles formativos: *elemental*, donde se incluye, como única asignatura de matemáticas, «Principios de Aritmética, o sean las cuatro reglas de contar por números abstractos y denominados», y *superior*, en el que dos de las cinco materias desarrollan conocimientos matemáticos —«Mayores nociones de Aritmética» y «Elementos de Geometría, y sus aplicaciones más usuales»— y otra, el «Dibujo lineal», tiene una clara vinculación con la geometría.

La segunda enseñanza, como etapa intermedia entre la primaria y la universitaria, se establece a partir de 1836⁴. En el período 1836-1845 fue regulada por el arreglo provisional de 29 de octubre de 1836, que establecía, en primer curso, las asignaturas de Elementos de Matemáticas, de lección diaria, y Geometría aplicada al Dibujo Lineal, con tres lecciones semanales. En segundo curso se implantaron la Continuación de los Elementos de Matemáticas, de lección diaria, y la Geografía Matemática y Física, de tres lecciones semanales. Es decir, casi un tercio del currículo de segunda enseñanza estaba ocupado por asignaturas de matemáticas o con vinculación a ellas. Posteriormente fueron numerosos los cambios de plan de estudios en secundaria, pero básicamente quedaron cuatro materias: Aritmética, Álgebra, Geometría y Trigonometría.

Para descender al detalle de las matemáticas elementales, impartidas en secundaria, se pueden utilizar los textos de Juan Cortázar (1809-1873)⁵. Su obra⁶ fue la más difundida, amplia y reeditada del siglo XIX, especialmente los textos destinados a la segunda enseñanza, que llegaron incluso a tener ediciones en los primeros años del XX.

El *Tratado de aritmética*, cuya primera edición se realizó en Madrid en 1846, alcanzó la octava edición en 1856, lo que da idea de la aceptación del texto a lo largo de esa década⁷. Como diferencia fundamental respecto a los tratados de otros autores, se defiende la separación de la enseñanza de la aritmética de la del álgebra, sobre todo

³ La Ley de Instrucción Pública de 9 de septiembre de 1857 establece de forma definitiva para todo el siglo XIX en la enseñanza primaria elemental la asignatura de Principios de Aritmética, con el sistema legal de medidas, pesos y monedas, y para la enseñanza primaria superior, la de Principios de Geometría, de Dibujo Lineal y de Agrimensura.

⁴ Si bien su asentamiento se produce con el Plan Pidal de 1845, y su consolidación oficial, con la Ley de Instrucción Pública de 1857.

⁵ Su posición predominante, como único catedrático de la Universidad Central, supuso una amplia difusión e implantación de sus libros de texto, abrazando las tres etapas educativas (primaria, secundaria y universitaria), si bien en el período 1845-1857 sus textos se dirigieron casi fundamentalmente a los dos niveles elementales.

⁶ Para ampliar información sobre otros libros de texto de matemáticas durante el período 1845-1857 puede verse F. VEA MUNIESA, 1995, pp. 404-434.

⁷ Esta obra alcanzó al menos la 45.^a edición, en 1923, más de setenta y cinco años después de su aparición.

en las cuestiones más elementales. Frente a otras, como la de Bourdon, también se puede observar en su obra cierto avance —modernización—⁸ en la denominación de los conceptos.

El *Tratado de álgebra elemental*, cuya segunda edición es de 1849, se ajusta a las pautas comunes de la mayoría de los textos de álgebra de la época. Su buen nivel matemático hace menos comprensible el rechazo de Cortázar hacia los problemas que se resuelven por medio de ecuaciones de primer grado con resultado negativo. A tales problemas los denomina, literalmente, «Caso de imposibilidad en los problemas de primer grado. Valores negativos de las incógnitas». Cortázar no incluye los logaritmos dentro de la aritmética, como hacen otros autores —Bourdon o Fernández Vallín—; presenta los logaritmos al final del texto de álgebra, antes de desarrollar la teoría de las progresiones⁹. Como consecuencia de la teoría de logaritmos, se detiene brevemente en las ecuaciones exponenciales.

El *Tratado de geometría elemental*, publicado por vez primera en 1847, es reeditado cinco veces más hasta el final del período 1845-1857. Cortázar indica su deseo de exponer la geometría elemental conciliando «el rigor y la concisión con la claridad», utilizando para facilitar su estudio una correspondencia entre el desarrollo de la geometría plana y la del espacio. Su contenido concreto, para segunda enseñanza, es geometría plana (línea recta y ángulos, polígonos, círculo, polígonos semejantes y áreas de los polígonos y del círculo) y geometría del espacio (planos, ángulos diedros y ángulos poliedros, poliedros, los tres cuerpos redondos, poliedros semejantes y áreas y volúmenes de los poliedros y cuerpos redondos).

El *Tratado de trigonometría rectilínea y esférica y de topografía*, cuya primera edición se realizó en 1848, es su texto elemental menos reeditado. En el planteamiento de la trigonometría, el autor realiza una clara división entre trigonometría rectilínea y esférica; la primera presenta dos partes —el estudio de las líneas trigonométricas en sí mismas y la resolución de triángulos rectilíneos—, mientras que la segunda, a partir de las relaciones fundamentales de la trigonometría esférica, se limita a la resolución de los diferentes casos de triángulos esféricos¹⁰. En cuanto a la topografía, el texto abarca todas las materias habituales, pero se extiende fundamentalmente en el uso de la trigonometría para la resolución de problemas prácticos concretos.

⁸ Sin embargo, existe en Cortázar un temor a enfrentarse a determinadas cuestiones aritméticas: pasa por alto los resultados enteros negativos y trata superficialmente las cantidades incommensurables.

⁹ El cambio es consecuencia del modo de presentar los logaritmos. Hay que tener presente que tanto Bourdon como Fernández Vallín, y anteriormente Vallejo, los introducen por relación entre una progresión aritmética que comienza en cero (los logaritmos) y una geométrica que comienza en uno (los números), mientras que Cortázar lo hace a partir de la función exponencial $y = a^x$.

¹⁰ Téngase en cuenta que la trigonometría esférica no formaba parte del currículo de todos los planes de estudios del período 1845-1857, en unos porque expresamente se reducía esta rama matemática a la rectilínea y en otros porque no se hacía mención concreta a la esférica como parte del programa de la asignatura.

I

EL PRIMER TERCIO DEL SIGLO XIX (1800-1833)

En este punto se establecen dos períodos diferenciados: el que va hasta 1814, fecha de finalización de la guerra de la Independencia, y el que coincide con el nefasto reinado de Fernando VII (1814-1833).

I.1. *Las matemáticas en la universidad*

En el primer tercio del siglo XIX, las matemáticas se estudian en la Facultad de Artes o Facultad Menor de Filosofía, fundamentalmente, para acceder a las facultades mayores, en especial la de Medicina.

El plan de estudios de 1807, conocido como *Plan Caballero*, exige solo el grado de bachiller en Filosofía para acceder a la Facultad de Medicina, por lo que deben cursarse dos asignaturas de matemáticas: «Elementos de Aritmética, Álgebra y Geometría y Aplicación de la Álgebra a la Geometría &c.»¹¹.

En el reinado absolutista de Fernando VII, que mostró su falta de apoyo a las ciencias, el Plan General de Estudios del Reino de 14 de octubre de 1824 desarrollaba los estudios de la Facultad de Filosofía en la universidad y adoptaba medidas regresivas hacia las ciencias, y especialmente hacia las matemáticas¹². No obstante, se van a exigir los tres primeros cursos de Filosofía para el ingreso en todas las facultades mayores.

Para conocer las matemáticas desarrolladas en la España del primer tercio del siglo XIX resulta muy significativa la obra de José Mariano Vallejo (1779-1846), cuya importancia es debida tanto al hecho de que cubre todo el sistema educativo como a su larga implantación dentro del mismo. Así, desde la *Aritmética para niños* (1804), pensada para la primera enseñanza, hasta el *Tratado elemental de matemáticas*, escrito para la formación matemática universitaria y preuniversitaria, pasando por el *Compendio de matemáticas puras y mistas*, que resume el anterior, sin olvidar sus producciones de mayor nivel matemático: *Adiciones a la geometría de Benito Bails* (1806) y *Memoria sobre la curvatura de las líneas en sus diferentes puntos, sobre el radio de curvatura y sobre las evolutas* (1807), todos tienen como punto de encuentro la claridad y la metodología didácticas.

Centrando el comentario de su producción matemática en el *Tratado*, como obra de mayor nivel matemático-educativo, hay que convenir en que es el auténtico

¹¹ En ambas se señala como libro de texto el de Juan Justo García, por lo que puede conocerse con bastante exactitud el alcance pretendido en cada asignatura, si bien la última solo va a exigirse para el acceso a la Facultad de Medicina.

¹² En relación con las matemáticas, hay que señalar la pérdida de la obra de Juan Justo García como libro de texto, junto con el descenso sustancial de tiempo docente dedicado a la disciplina respecto al plan de 1807, debido a la desaparición de la asignatura de mayor nivel matemático: Aplicación de la Álgebra a la Geometría &c.

impulsor del libro de texto en la España del siglo XIX, si bien sus esquemas no son nuevos y tienen como antecedentes las obras de Benito Bails y de Juan Justo García, lo que no debe entenderse como una influencia directa de los contenidos de dichas obras en los textos de Vallejo. Del *Tratado elemental de matemáticas*, desarrollado en tres tomos —los dos primeros en dos partes—, se van a analizar solo los dos primeros, dedicados a temas estrictamente matemáticos, ya que en el tercero se abordan contenidos de física —matemáticas mixtas—. En la parte primera del tomo I, Vallejo pospone el estudio de las aplicaciones mercantiles de la aritmética y de los logaritmos a la introducción de las nociones generales del álgebra —al igual que Juan Justo García—. Como contenidos de álgebra, incluye el estudio de la resolución de ecuaciones de grado superior al segundo y desarrolla la regla de falsa posición y un nuevo método que presenta como propio para la obtención de raíces de ecuaciones algebraicas. Concluye la parte de álgebra con una exposición de «Proposiciones importantes acerca de las cantidades constantes y variables, y de los límites», donde trata de explicar la idea de función y de sus límites. La segunda parte del tomo I desarrolla, junto a los cinco poliedros regulares, los trece cuerpos que pueden formarse con polígonos regulares no semejantes. La sección dedicada a la geometría elemental concluye con una breve exposición sobre la comparación de superficies y volúmenes de cuerpos semejantes. Incluye una parte dedicada a geometría práctica.

En el tomo II, parte primera, del *Tratado* —junto a la trigonometría esférica y a un apéndice sobre la «Teoría general de las ecuaciones»— expone la aplicación del álgebra a la geometría o geometría analítica, donde se deben citar la transformación de las coordenadas, que dará lugar posteriormente al estudio de las transformaciones de las cónicas; el estudio de una «Idea general de la teoría de las curvas», que tendrá su continuación en un estudio de los lugares geométricos en general; y una «Digresión acerca de las superficies curvas». La segunda parte de este tomo II desarrolla los contenidos de cálculo diferencial e integral, con una introducción sobre las series, las funciones y los límites. Al final, Vallejo expone en el *Tratado* dos temas que no figuran en el *Compendio*: la resolución de algunas ecuaciones diferenciales de primer orden —variables separadas y exactas—, incluida la teoría del factor integrante, y una introducción al cálculo de variaciones. En definitiva, si la parte de «Matemáticas elementales» de Vallejo muestra una influencia clásica, euclidiana, nadie puede negar su espíritu modernizador en las «Matemáticas superiores», no solo por las referencias a autores contemporáneos suyos, sino también por el uso de las fuentes matemáticas de las que surge cada tema.

Un aspecto fundamental de la obra de este autor es su preocupación por estar al día en los avances que van surgiendo en las teorías matemáticas. Así, en la segunda edición del *Tratado*, de 1832, es tal la cantidad de añadidos y modificaciones que introduce en el tema de cálculo diferencial e integral respecto a la primera edición que prácticamente duplica el número de páginas. Si bien en la segunda edición no cambia en esencia los planteamientos de su texto, demuestra conocer el trabajo y

varias de las obras publicadas por el matemático francés Augustin-Louis Cauchy (1789-1857) durante la década de los años veinte del siglo XIX, que establecieron las bases del cálculo diferencial e integral. El papel desempeñado por Vallejo en España, desde el punto de vista de la formación matemática, es incontestable y constituye una referencia obligada para analizar el cambio del sistema educativo del Antiguo Régimen al nuevo sistema liberal.

1.2. *Las matemáticas en la formación técnica*

Siguiendo a Mansilla y Sumozas, se puede afirmar que «la intensa actividad que se desarrolla en Almadén a lo largo del siglo XVIII es el origen de la ingeniería moderna en España y el motivo por el cual se decidió crear su Academia de Minas»¹³. Con fecha de 14 de junio de 1777 se fundó este centro, que en 1803 contaba con tres profesores e impartía las asignaturas de Geometría Subterránea, Minería Práctica, Matemáticas y Dibujo¹⁴.

En los orígenes de la ingeniería civil moderna cabe destacar la creación de la Escuela de Caminos y Canales de Madrid. Una figura clave en este proceso fue Agustín de Betancourt (1758-1824), quien en 1801 era el inspector general de Caminos y Canales y, viendo la necesidad de desligar la ingeniería militar de la civil, propuso la creación de un centro de enseñanza especializado de características análogas a las de la acreditada École des Ponts et Chaussées de París. En 1802 logró que se fundara el Centro de Estudios de la Inspección General de Caminos y Canales, un año más tarde denominado Escuela de Caminos y Canales¹⁵. Su plan de estudios se fijó en dos años, y en él prácticamente todos los conocimientos matemáticos se exigían en el examen de ingreso —Aritmética, Álgebra, Geometría, Trigonometría Plana y Esférica, Secciones Cónicas y Cálculo Diferencial e Integral—, quedando la Geometría Descriptiva en el primer curso. Para el estudio de esta asignatura, en 1803 la Inspección General de Caminos publicó una traducción al castellano de la *Geometría descriptiva* de Gaspard Monge, producto de las lecciones que impartió en 1795 en las escuelas normales de París, lo que demuestra el nivel y la modernidad científica en el inicio de este centro.

Además de la preocupación por tener buenos libros de texto, Betancourt también se encargó de la elección del profesorado. Dentro de este equipo pionero estaban José María de Lanz (1764-1839) y José Chaix (1765-1809)¹⁶. El último había redactado en 1801 el libro *Instituciones de cálculo diferencial e integral con sus aplicaciones principales a las matemáticas puras y mixtas*. Sobre este texto, Medrano

¹³ L. MANSILLA y R. SUMOZAS, 2007, p. 81.

¹⁴ M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, p. 4.

¹⁵ Más detalles sobre los primeros años de este centro, en F. SÁENZ RIDRUEJO, 1993, pp. 47-64, y M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, pp. 10-15. En relación con los inicios de la institucionalización de la ingeniería, puede verse M. SILVA SUÁREZ, 2005.

¹⁶ Sobre la figura de Chaix puede consultarse S. GARMA PONS, 1994.

indica que «se puede afirmar que con Chaix hay un cambio significativo en las propuestas que sobre el cálculo se hacen en España hasta ese momento»¹⁷.

La guerra de la Independencia (1808-1814) llevó al cierre la Escuela de Caminos y la de Almadén. Después de la contienda y hasta el Trienio Liberal, Caminos no logró su reapertura y Minas contó con muy pocos alumnos. La nueva estructura liberal de la enseñanza, en particular la de la ingeniería, se refleja en el Reglamento General de Instrucción Pública de 29 de junio de 1821¹⁸, que en sus artículos 67, 68 y 69 establecía una Escuela Politécnica, militar y civil, que debía actuar de preparatoria para las escuelas de aplicación de Artillería, Ingenieros, Minas, Canales, Puentes y Caminos, Ingenieros Geógrafos y Construcción Naval. Los contenidos matemáticos que debían impartirse en dichos cursos preparatorios eran el Análisis y la Geometría Descriptiva. Para ingresar en la Escuela Politécnica se proponía un examen de distintas materias, que incluía matemáticas puras hasta el cálculo integral inclusive. Este centro no llegó a establecerse; en cambio, durante el Trienio sí que consiguió su reapertura la Escuela de Caminos y Canales, que funcionó únicamente los cursos 1821-1822 y 1822-1823, aunque este último no llegó a terminarse, ya que Fernando VII ordenó su cierre. Por el contrario, en la Década Ominosa, por la Ley de Minas de 1825 se implantaron una serie de disposiciones que permitieron la remodelación de la ahora denominada Escuela de Aplicación de Almadén. En ella se crearon dos cátedras, una de las cuales era la de Geometría Subterránea. La formación en conocimientos matemáticos debía realizarse previamente a la entrada en la escuela, y había que ser examinado de ellos por los dos catedráticos o por la Dirección General de Minas para poder tener acceso al centro. En 1835 se decidió su traslado a Madrid, de modo que Almadén quedó como escuela práctica.

Si la etapa fernandina estableció¹⁹ los cimientos de la minería española contemporánea, también en estos años tuvo lugar la creación del Real Conservatorio de Artes, que, como afirman Ramón y Silva²⁰, «sería un indicio de que no todas las señales son negativas, pudiéndose observar que durante el período 1823-1833 España comienza a experimentar una lenta reconstrucción impregnada de ciertos tintes industrialistas».

Siguiendo los consejos de Juan López de Peñalver (1763/64-1834), que fue colaborador de Betancourt, por R. O. de 18 de agosto de 1824 se creó el Real Conservatorio de Artes (RCA), en parte *reencarnación* del Real Gabinete de Máquinas del Buen Retiro y de la Colección de Máquinas de la Clase de Artes de la Real Sociedad

¹⁷ F. J. MEDRANO, 2005, p. 261.

¹⁸ Se ha seguido el texto reproducido en M. de PUELLES BENÍTEZ, 1985, pp. 49-67. Una aportación al tema para el Trienio Liberal y el conjunto de la evolución de la formación académica y del establecimiento de los cuerpos de ingenieros puede verse en M. SILVA SUÁREZ, 2007b.

¹⁹ L. MANSILLA y R. SUMOZAS, 2007, p. 86.

²⁰ P. J. RAMÓN y M. SILVA, 2007, p. 240.

Económica Matritense. Lo dirigió hasta su fallecimiento. En un principio el Conservatorio no tenía tareas docentes, pero entre finales de 1825 e inicios de 1826 se establecieron distintas enseñanzas, entre ellas la de Geometría. Los alumnos pertenecían a un público muy variado: artesanos, amantes de las ciencias, profesores distinguidos, artistas y fabricantes. Para su utilización en este centro, su director realizó la traducción de la *Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes: curso normal para el uso de los artistas y menestrales, y de los maestros y veedores de los talleres y fábricas*, escrita en 1826 por Charles Dupin (1784-1873), director y profesor del Conservatoire National des Arts et Métiers (CNAM) de París. Esta traducción consta de dos tomos: la *Geometría*, publicada en 1830, y la *Mecánica*, en 1835, que, tras la muerte de Peñalver, debió concluir su hijo Juan López de Peñalver de la Torre. Mayor ímpetu en sus tareas docentes tomó el centro a raíz de la R. O. de 30 de mayo de 1832, por la que se aprobaba un plan de estudios de cinco años de duración en el que las matemáticas —Aritmética, Geometría y Dibujo Geométrico— se señalan, al menos, en los tres primeros²¹.

Una característica común al Real Conservatorio de Artes y a la Escuela de Minas es su coincidencia en la utilización de los textos de José Mariano Vallejo y Ortega (1779-1846). En 1834, Vallejo se incorporó al claustro de profesores del RCA para impartir las clases de Aritmética y Geometría, y en la Escuela de Minas, igualmente en la década de los años treinta, sus obras fueron las seleccionadas para las clases de Aritmética, Álgebra, Geometría Elemental, Trigonometría Rectilínea y Geometría Práctica en lugar de los textos de Bails que hasta entonces se utilizaban²².

I.3. Las matemáticas en las academias militares

La enseñanza militar, en los centros de Artillería y de Ingeniería, aunque también con sus dificultades, presenta más estabilidad, ya que fue heredera de la militarización de la ciencia del siglo anterior. Así, los artilleros tenían en Segovia el Real Colegio Militar de Caballeros Cadetes de Artillería, que al inicio del XIX ya llevaba treinta y seis años en funcionamiento, y en 1803 los ingenieros abrieron en Alcalá de Henares la Escuela Teórica para la Instrucción de los Subtenientes, sucesora de uno de los principales centros de enseñanza del Setecientos: la Academia de Matemáticas de Barcelona (1720-1803). Destinada a la formación de las armas generales y de preparación para entrar en la Escuela de Ingenieros estaba la Academia de Zamora, instituida ya en 1790.

²¹ Además, el Conservatorio se convirtió en un centro del que dependerán una serie de establecimientos situados en distintas ciudades españolas. Con la colaboración de sociedades económicas o juntas de comercio, impartirán una enseñanza técnica elemental que se fijó en dos cátedras, una de ellas de Geometría. Para un estudio más detallado del Real Conservatorio de Artes (1824-1887) bajo la dirección de Peñalver, véase P. J. RAMÓN y M. SILVA, 2007, pp. 240-250.

²² M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, p. 7.

Al inicio del siglo XIX la instrucción matemática de los dos cuerpos facultativos del Ejército o *armas sabias* era bastante diferente²³. Los ingenieros militares tenían un planteamiento más similar al señalado en la Escuela de Betancourt, es decir, un examen de ingreso sobre matemática elemental y superior, para limitar su estudio en la carrera, mientras que los artilleros —para quienes la edad de ingreso en su colegio era de doce años— no exigían ninguna prueba de entrada y desarrollaban en su centro una enseñanza más gradual y escalonada de las matemáticas. En cuanto a la geometría descriptiva, según se afirma en el *Estudio histórico del cuerpo de ingenieros del Ejército*²⁴, los ingenieros aprendían esta materia dentro de la asignatura de Dibujo.

	Ingenieros militares (1803, tres años de formación)	Artilleros (1804, cuatro años de formación)
Examen de ingreso	Nociones de Álgebra, Cálculo Diferencial e Integral	
Primero	Álgebra, Cálculo Diferencial e Integral	Cálculo Numérico y Literal, Geometría Especulativa y Práctica, Trigonometría Plana
Segundo		Secciones Cónicas, Álgebra, Aplicaciones del Álgebra a la Geometría
Tercero	Trigonometría Esférica	Cálculo Diferencial e Integral

Cuadro 6.1. Las matemáticas en los planes de estudios de las academias militares, 1803-1804.

Respecto a los libros de texto, ambos centros coincidían en resaltar la necesidad que había de redactar nuevas obras científicas y militares para la formación de sus oficiales. A principios del siglo, en la Escuela de Ingenieros Militares aún se utilizaba el *Curso militar de matemáticas*²⁵ de Pedro Padilla Arcos, redactado entre 1753 y 1756, e incluso en 1807 se realizó una reimpresión de los dos primeros tomos —*Aritmética* y *Geometría elemental*—. Pero estos textos no satisfacían ya las necesidades académicas; por ello se reforzó el personal y se encargó al profesor Antonio Sangenis (1767-1809) la organización de un plan de trabajo para la elaboración de veinte tratados distribuidos en materias científicas y militares. En lo que a matemáticas se refiere, consta que en agosto de 1807 Sangenis estaba escribiendo el *Tratado analítico de las*

²³ La evolución y la normativa que rigió la enseñanza militar en la España del XIX pueden verse en M.^a Á. VELAMAZÁN, 1994.

²⁴ *EHCIE*, 1911, t. II, p. 26.

²⁵ *Curso militar de matemáticas, sobre las partes de estas ciencias pertenecientes al arte de la guerra, para el uso de la Real Academia establecida en el Cuartel de Guardias de Corps*, 1753-1756; t. I: *Aritmética vulgar*; t. II: *Geometría elemental o de Euclides*; t. III: *Álgebra elemental*, t. IV: *Geometría superior o de las curvas y de los cálculos diferencial e integral o método de las fluxiones*.

secciones cónicas y las *Cantidades radicales y otras teorías del álgebra*²⁶. En el Colegio de Artillería se disponía de textos expresamente redactados para su enseñanza. Así, el manual utilizado era el *Curso matemático para la enseñanza de los caballeros cadetes del Real Colegio Militar de Artillería*²⁷, redactado por Pedro Giannini entre 1775 y 1803. Posteriormente, en 1807, un profesor del centro, Francisco Dátoli (1767-1810), publicó un *Curso de matemáticas para el uso de los oficiales y caballeros cadetes del Real Cuerpo de Artillería*²⁸. Para su redacción, Dátoli se sirvió de las obras de Giannini y de las del profesor de Mecánica de la Escuela Politécnica de París en esos años, Sylvestre-François Lacroix (1765-1843).

La guerra de la Independencia (1808-1814) supuso una gran convulsión nacional que, en lo que a la enseñanza militar se refiere, hizo que los centros tuvieran que cerrarse. Con dificultades y de manera discontinua, ingenieros y artilleros lograron su reapertura en el sur de la Península o en las Islas Baleares. Además, dos de los matemáticos aquí citados murieron en ella: como fiel reflejo de lo que acontecía en la sociedad española, uno, Dátoli, perdió la vida apoyando a los franceses, y, en cambio, el otro, Sangenís, falleció en el segundo sitio de Zaragoza luchando contra ellos.

En 1814 los dos centros volvieron a sus ubicaciones respectivas, reanudaron sus clases y modificaron sus planes de estudio. Ambos aumentaron en un año su período de formación académica e incluyeron más materias de contenido científico, con una enseñanza escalonada de los conocimientos matemáticos, en la que se daba mayor relevancia a su componente geométrica —en particular, en el Colegio de Artillería aparece ya la Geometría Descriptiva como asignatura independiente—. Igualmente, en la Academia de Ingeniería aparecieron hechos novedosos, como la aplicación del método de pizarras —proveniente de la Escuela Politécnica de París—²⁹; además, en 1819 un profesor de este centro, Mariano Zorraquín Merino (1785-1823), publicó el primer libro de texto de geometría descriptiva escrito por un matemático español.

El libro de *Geometría analítica-descriptiva* de Zorraquín está basado, como él mismo afirma, en las obras de Monge, Lacroix, Biot, Puissant, Hachette, Garnier y

²⁶ EHCIE, 1911, t. II, p. 34.

²⁷ *Curso matemático para la enseñanza de los caballeros cadetes del Real Colegio Militar de Artillería, 1779-1803*; t. I: *Elementos de geometría plana y sólida, propiedades de las líneas trigonométricas y de las secciones cónicas*; t. II: *Aritmética y álgebra*; t. III: *Cálculo diferencial e integral*; t. IV: *Mecánica*.

²⁸ Esta obra comprendía tres tomos: t. I: *Aritmética*; t. II: *Álgebra*; t. III: *Geometría*. Posiblemente, la idea del autor fuera la de redactar más volúmenes sobre disciplinas matemáticas, ya que, por lo que afirma en el prólogo de su obra, da toda la sensación de que su *Curso de matemáticas* sea un trabajo inacabado.

²⁹ El método de pizarras consistía en escribir en ellas, antes de la hora de clase, los cálculos, figuras o resúmenes necesarios para la explicación del tema; así, la pizarra se convertía en un cuadro sinóptico organizado y ordenado que contenía todas las ecuaciones, fórmulas, cálculos y figuras necesarias para comprender los diversos aparatos, máquinas y construcciones.

Boucharlat. Lo más importante e innovador de su trabajo fue que los dos desarrollos de la geometría, hasta entonces expuestos de manera separada —la expresión algebraica, por un lado, y la gráfica, por otro—, los unificó en una única disciplina. Del mismo modo que Sangenís y Dátoli, también Zorraquín murió debido a la situación política española, ya que falleció en la confrontación bélica que puso fin al Trienio Liberal (1820-1823).

Durante esos años las academias militares dieron muestras de apoyo al liberalismo, y cuando en 1823 Fernando VII volvió al poder decretó el cierre de todos los centros de enseñanza militar³⁰. Su objetivo fue entonces la creación de unas fuerzas armadas fieles, lo que tuvo su reflejo en la nueva política educativa militar. El 1 de junio de 1825 se produjo la apertura del Real Colegio General Militar en el Alcázar de Segovia para la formación de toda la oficialidad del Ejército, tanto de Infantería y Caballería como de Artillería e Ingenieros.

Los estudios se fijaron en cinco años, sin especificar ninguna distinción de formación entre las cuatro armas. También se establecieron los libros que debían usarse en la enseñanza de las matemáticas. Por el texto de Lacroix debían estudiarse la Aritmética, el Álgebra, la Geometría Especulativa, la Trigonometría y el Cálculo Diferencial e Integral; por el de Monge, la Geometría Descriptiva; por el de Giannini, la Geometría Práctica; y por el de Zorraquín, la Aplicación del Álgebra a la Geometría.

En este centro, y desde su creación, ejerció la docencia Jacinto Feliu (1787-1867), el matemático y sacerdote de las Escuelas Pías; también, durante un breve espacio de tiempo —desde 1825 hasta 1827—, fue profesor del Colegio General Militar el entonces capitán de ingenieros Fernando García San Pedro (1796-1854)³¹, quien para la enseñanza en dicho centro redactó en 1828 el manual de *Teoría algebraica elemental de las cantidades que varían por incrementos positivos o negativos de sus variables componentes, o sea cálculo diferencial e integral*.

Aunque este libro es muy poco didáctico, contiene una aportación fundamental: *investigación*. Es poco pedagógico, ya que en primer lugar se redacta todo el texto y se dejan en las páginas finales las fórmulas y las ecuaciones. Tal vez si en la exposición de la clase utilizaban el método de pizarras se entienda mejor la razón de esta presentación. A pesar de ello, se puede considerar que García San Pedro era un profundo conocedor de la matemática de su tiempo y que, con su método de los incrementos ideales³², aportó esfuerzo e investigación a un tema importante en las matemáticas del siglo XIX, como era la fundamentación del cálculo diferencial e integral. No lo consiguió, ya que fue el matemático francés Cauchy quien, por esos mismos años, logró la solución.

³⁰ Orden circular del Ministerio de la Guerra de 27 de septiembre de 1823.

³¹ Para obtener más información sobre Fernando García San Pedro, véase M.^a Á. VELAMAZÁN y E. AUSEJO, 1991.

³² Véase M.^a Á. VELAMAZÁN, 2000.

En la misma época el artillero José Odriozola (1785-1864)³³ inició la redacción de libros de texto. Su *Curso completo de matemáticas puras* fue publicado por vez primera en Madrid entre 1827 y 1829, y consta de cuatro tomos: *Aritmética y álgebra elemental*, *Geometría elemental y trigonometría*, *Álgebra sublime y geometría analítica* y *Cálculo diferencial e integral*. La obra fue consecuencia de que la Junta Superior Facultativa del Real Cuerpo de Artillería consideraba³⁴ que se necesitaba un libro más apropiado para la formación de los artilleros que el curso de matemáticas de Lacroix o el cálculo diferencial e integral de Vallejo. Odriozola realizó esta tarea y su *Curso completo de matemáticas puras* comprende un total de 1.385 páginas con 424 figuras. En él, la utilidad de las matemáticas en sí mismas o como herramienta al servicio de otras ciencias se pone de manifiesto ya en la dedicatoria.

Comparando la obra de Odriozola con otras de la misma época se pueden mencionar algunos hechos distintivos. En el primer tomo, *Aritmética y álgebra elemental*, el autor indica que él va a trabajar, no como se hace habitualmente, enseñando primero aritmética y después álgebra, sino conjuntamente, ya que en realidad una está incluida en la otra. En esta parte hay que señalar la aparición de un capítulo con entidad propia en el que se desarrollan «Algunas propiedades de los números naturales»: divisibilidad, números primos, descomposición en factores primos... También hay que destacar cierto rechazo a trabajar con cantidades que no sean naturales o racionales.

En los contenidos del segundo tomo, *Geometría elemental y trigonometría*, la mayor diferencia con respecto a otros textos estriba en la ordenación de los contenidos. En efecto, después del estudio de la geometría, plana y del espacio, Odriozola introduce unas primeras nociones prácticas de topografía y, tras el desarrollo de la trigonometría plana, presenta unas aplicaciones a la geodesia³⁵ y unas nociones de trigonometría esférica, exponiendo nuevas aplicaciones de esta. Entre ambos tomos cabe señalar que el segundo tiene un aspecto de mayor modernidad que el primero, tanto en el contenido matemático como en el lenguaje empleado. Ambos ofrecen una ordenación didácticamente progresiva en la incorporación de contenidos, lo que hizo de ellos una obra deseable en la formación matemática elemental y con una vigencia educativa cercana a los treinta años.

Sobre matemática superior tratan los tomos tercero y cuarto. Este último es el *Cálculo diferencial e integral*, y en él también se habla de la problemática de su fundamentación. Ante este hecho, en el aspecto teórico Odriozola se refugia en el álgebra —al estilo de Lagrange—, pero en la práctica, por la sencillez del lenguaje y por

³³ Para obtener más información sobre José Odriozola véase J. NAVARRO y M.^a Á. VELAMAZÁN, 2006.

³⁴ El dictamen, fechado en 1828, está incluido en la hoja de servicios de Odriozola.

³⁵ En esta idea Odriozola coincide con Lista, superando el concepto de aplicaciones de la geometría y la trigonometría solo a la topografía, ampliándolo a la geodesia, y tomando aquella como un caso particular de esta.

tener siempre presentes distintas circunstancias de las funciones que emplea, prefiere la notación clásica de las diferenciales. Según Medrano³⁶, en comparación con otros libros de texto de cálculo diferencial e integral escritos por españoles en la misma época, este autor es el más fiel seguidor de Lagrange.

Odriozola no ejerció la docencia en el Colegio General Militar —a diferencia de García San Pedro—, pero la inadecuada formación en este centro para los cuerpos facultativos del Ejército hizo que, casi al final de la Década Ominosa, los centros de enseñanza de Artillería e Ingenieros lograran su reapertura³⁷, y Odriozola y García San Pedro, respectivamente, pasaron a ser profesores en ellos.

II

LOS LIBERALES LLEGAN AL PODER (1833-1857)

Indudablemente, la década de los años treinta, con la entrada en el poder de los liberales, fue una época de reformas y de mejoras en la enseñanza en general. Como en este mismo trabajo se puede ver, se ordenó la primera enseñanza, se comenzaron a establecer los primeros institutos de segunda enseñanza, la sección de Ciencias inició su andadura en la Facultad de Filosofía, la Escuela de Caminos y Canales consiguió su tercera y definitiva reapertura, y se abrió un amplio abanico de centros docentes para las distintas especialidades de la ingeniería civil. Finalmente, para los oficiales de los cuerpos facultativos militares constituyó un tiempo de apertura y de elevación de las exigencias y del nivel científico en su formación.

II.1. *Las matemáticas en la universidad*

Tras el fallido intento del plan de estudios del duque de Rivas en 1836, el texto legal progresista del R. D. de 8 de junio de 1843, que no llegó a aplicarse, o los confusos planteamientos del Plan Pidal de 1845, la norma legislativa que regía los estudios españoles, previa a la Ley Moyano, era el reglamento de estudios de 10 de septiembre de 1852. Este reglamento volvía a entremezclar oscuramente la segunda enseñanza con la Facultad de Filosofía (grado de bachiller). Para los períodos de licenciatura y doctorado en Filosofía establecía cuatro secciones diferenciadas: Literatura, Administración, Ciencias Físico-Matemáticas y Químicas, y Ciencias Naturales, estas dos últimas, antecedentes inmediatos de la Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

³⁶ F. J. MEDRANO, 2005, p. 332.

³⁷ Por R. O. de 20 de agosto de 1826 se reabrió la Academia de Ingenieros en Madrid y, después de algunos traslados, finalmente consiguió su estabilidad y en 1833 se instaló en Guadalajara. Para Artillería, el 2 de diciembre de 1828 se aprobó el restablecimiento del Colegio y en 1830 se inició su funcionamiento con un nuevo plan de estudios, y por primera vez se exigía un mínimo de conocimientos en el examen de ingreso: en matemáticas, «saber exactamente las cuatro reglas de sumar, restar, multiplicar y dividir».

Se incluyeron como asignaturas de contenido matemático en la sección de Ciencias Físico-Matemáticas y Químicas, en el grado de licenciado, Álgebra Superior y Geometría Analítica (lección diaria en primer curso), Cálculos Diferencial e Integral (diaria en segundo), junto a otras de vinculación matemática como Mecánica (diaria en tercero) o, en quinto curso, Física Matemática (diaria) y Geografía Astronómica, Física y Política (alterna)³⁸. Los contenidos de estas asignaturas se desarrollaban según los textos oficiales indicados en la R. O. de 15 de septiembre de 1852, que eran, para Álgebra Superior y Geometría Analítica, Zorraquín y Gómez de Santa María³⁹; y, para Cálculos Sublimas, Boucharlat (traducido por Jerónimo del Campo), García San Pedro y Navier (traducido)⁴⁰.

La *Geometría analítica* (1846) de Gómez de Santa María está dividida en dos partes: en la primera, de fundamentación, el autor desarrolla las expresiones algebraicas de las curvas, especialmente de las cónicas, y estudia estas en profundidad; la segunda comprende el análisis de tres dimensiones (rectas y planos en el espacio, superficies cualesquiera...) y la trigonometría esférica (fórmulas generales y resolución de triángulos esféricos).

II.2. *Las matemáticas en la formación de los ingenieros*

Tras el reglamento de 1821, hay que esperar al restablecimiento de la Escuela de Caminos en 1834, a la apertura de la Escuela de Minas⁴¹ en 1835, a los vaivenes de la Escuela de Montes —con intentos de apertura en 1835 y 1843— hasta su establecimiento en 1846, a las vicisitudes de la Escuela de Agricultura hasta implantarse en 1855 o a la creación del Real Instituto Industrial en 1850 para ver consolidados los estudios en las escuelas especiales.

Para dar respuesta a la pregunta de dónde se estudiaban las matemáticas en la formación de los ingenieros civiles, hay que señalar las distintas formas de acceso a las escuelas de ingenieros a lo largo del segundo tercio del siglo XIX; en el período 1833-1857 se realizó de dos formas diferenciadas: Escuela Preparatoria (1848-1855) y examen de ingreso (1834-1848⁴²/1855-1857). En los primeros años del período liberal,

³⁸ En el grado de doctor, en sexto curso, aparece la asignatura de Astronomía Física y de Observación, de lección diaria.

³⁹ Además de ser el autor de unos *Elementos de matemáticas*, en tres volúmenes publicados en 1844, hay que reseñar su importancia en este apartado por haber escrito un *Tratado completo de matemáticas* cuyo tomo IV, *Geometría analítica o aplicación del análisis a la geometría*, publicado en Madrid en 1846, fue declarado obra de texto en la Facultad de Filosofía (estudios de ampliación), al menos en los años 1847, 1849, 1850, 1852 y 1864-1867.

⁴⁰ De estas obras, las de edición más reciente son la de Gómez de Santa María y la traducción de Navier. El contenido de la segunda se expondrá en el período siguiente (1857-1874).

⁴¹ Que fue el traslado de la Escuela de Almadén.

⁴² En este primer período se encontraba presente la idea del Colegio Científico —antecedente de la Escuela Preparatoria— para impartir las disciplinas de ciencia básica como las matemáticas, pero diversas vicisitudes lo impidieron. Véanse los detalles en M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, pp. 295-311.

las escuelas de Caminos y Minas tuvieron ciertas diferencias en el trato dispensado a las matemáticas, tanto en el examen de ingreso como en la actitud respecto a la no implantación del Colegio Científico.

Así, en el examen de ingreso, la Escuela de Caminos exigía desde aritmética hasta geometría analítica con el nivel desarrollado en las obras de Lacroix (1765-1843) —también, hasta 1845, aparecía como recomendado el texto de Vallejo—, e incluía en su plan de estudios las asignaturas de Cálculo Infinitesimal, Cálculo del Álgebra Trascendente, Geometría Analítica y Geometría Descriptiva, que deberían haberse cursado en el Colegio Científico⁴³.

Las obras de Lacroix, que venían usándose como textos en el primer tercio del siglo XIX tanto en la enseñanza militar como en la civil, permiten conocer los contenidos exigidos en el examen de ingreso en la Escuela de Caminos⁴⁴. De su obra, *Cours élémentaire de mathématiques pures*, solo se tradujeron al castellano los cuatro primeros tomos, correspondientes a aritmética, álgebra, geometría, trigonometría rectilínea y esférica y aplicación del álgebra a la geometría⁴⁵, aunque también se utilizaron las ediciones francesas, en particular la del *Traité élémentaire de calcul différentiel et de calcul intégral*, del que no se conoce traducción alguna y que figura entre los libros de texto para matemáticas superiores en la Facultad de Filosofía en los años 1847 y 1849, así como en la enseñanza de ampliación de las escuelas industriales⁴⁶.

Los contenidos del tomo primero —*Aritmética*— siguen un desarrollo habitual con las cuatro operaciones elementales para números naturales, racionales —y decimales— y complejos o denominados, y concluyen con el estudio de razones y proporciones y las aplicaciones al cálculo mercantil. Como novedades de interés, muestra unos primeros resultados sobre divisibilidad o la teoría de los números primos, así como una amplia exposición del «Nuevo sistema de medidas francesas» —el métrico decimal— y su comparación con los existentes en distintos países⁴⁷. El desarrollo del

⁴³ Sin embargo, la Escuela de Minas comenzó exigiendo un certificado de haber cursado las asignaturas de matemáticas para poder presentarse al examen de acceso, pero, a diferencia de Caminos, luego no incorporó las asignaturas de mayor nivel matemático a su plan de estudios.

⁴⁴ La obra de Lacroix, de clara primacía en España en el segundo cuarto del siglo XIX, hay que enmarcarla en la doble perspectiva de su amplia experiencia docente en Francia —con la consiguiente repercusión educativa y matemática— y la influencia del sistema educativo francés en el desarrollo del español. Sobre la figura, el pensamiento y la obra de Lacroix, con su influencia en nuestro país, puede verse F. VEA MUNIESA, 1991.

⁴⁵ El uso docente de la obra de Lacroix en España data de la primera década del siglo XIX, pero el espaldarazo a las traducciones de sus obras llega en 1824 con el plan de estudios de Calomarde, que las toma como texto en las cátedras de Matemáticas Superiores de la Facultad de Filosofía.

⁴⁶ Véase la *Gaceta de Madrid* del 24 de septiembre de 1851.

⁴⁷ Este tema es importante, pues va a ocupar una parte estable dentro del currículo matemático de la primera y la segunda enseñanzas españolas a partir de la mitad del siglo XIX. Por el contrario, Lacroix omite en la parte de aritmética el estudio de los logaritmos, que pospone al del álgebra,

tomo segundo —*Álgebra*— es confuso y retórico, debido fundamentalmente al método pedagógico de Lacroix de pasar de lo particular a lo general, que en este punto se transforma en el paso de la aritmética al álgebra. Su contenido específico no varía sustancialmente respecto a otros textos sobre este tema publicados en España en el mismo período, con un tratamiento específico, minucioso, receloso y farragoso de las raíces negativas en ecuaciones de primer grado, y de las raíces irracionales e imaginarias en las de grado dos o superior.

Como puntos de interés habría que señalar el desarrollo de la fórmula del binomio de Newton, la descomposición de una ecuación en factores simples o el amplio estudio para la resolución por métodos de aproximación de las ecuaciones algebraicas. Lacroix desarrolla el estudio «De las cantidades exponenciales, y de los logaritmos» como parte final del *Álgebra*, donde destaca el estudio de la «Relación que tienen entre sí los logaritmos de un mismo número tomados en distintos sistemas».

Del tomo tercero —*Geometría*— deben señalarse dos cuestiones previas al análisis de contenidos: la influencia matemática de Monge en esta parte de su obra —la más reeditada en Francia—, que el propio Lacroix señala como consecuencia de haber asistido en 1794 a las clases de aquel en la Escuela Politécnica, y la influencia pedagógica de Pestalozzi, por la que Lacroix señala la geometría como materia básica de la enseñanza. Ambas influencias se trasladan a la obra en la doble dirección de rigor y orden matemáticos, y de claridad y sencillez pedagógicas. Su contenido presenta un desarrollo geométrico clásico, de tipo euclidiano, tanto en el plano como en el espacio.

La obra de Lacroix de mayor nivel matemático traducida al castellano es el *Tratado elemental de trigonometría rectilínea y esférica, y de la aplicación del álgebra a la geometría*. El interés de este cuarto tomo no radica en el desarrollo de su primera parte, que también dedica un espacio a las aplicaciones topográficas; su verdadera importancia está en el capítulo III⁴⁸ («De la aplicación del álgebra a la geometría») y en el apéndice (sobre la «Aplicación del álgebra a las superficies curvas y a las curvas de doble curvatura», es decir, alabeadas).

La Escuela Preparatoria, en su primera etapa (1848-1855), se estableció por el R. D. de 6 de noviembre de 1848 y constaba de dos cursos con cinco clases diarias⁴⁹.

y tampoco hace ninguna referencia a las potencias y las raíces de los números, que también desarrollará junto a dichas operaciones para expresiones algebraicas. Lacroix omite, rehúye e incluso se opone a las cantidades negativas e imaginarias, como se señala en F. VEA y R. ROYO, 1990, p. 428.

⁴⁸ Desarrolla desde una exposición global sobre el sistema de aplicación del álgebra a la geometría hasta la obtención de lugares geométricos en general, pasando por el estudio de los sistemas de coordenadas y por un exhaustivo análisis de las cónicas, y concluye con una exposición de curvas de grado superior.

⁴⁹ El cuadro es de elaboración propia a partir de M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, pp. 64-66.

Clases (1,5 horas)	Primer año	Segundo año
Primera clase (diaria)	Cálc. Diferencial e Int. Aplic. del Análisis a Geom.	Mecánica Racional
Segunda clase (alterna)	Geometría Descriptiva	Aplicaciones de la Geometría Descriptiva
Tercera clase (diaria)	Construcciones Gráficas	Construcciones Gráficas
Cuarta clase (alterna)	Física y Química	Topografía y Geodesia
Quinta clase (diaria)	Dib. de Paisaje. Dib. de Lavado de Órdenes de Arquit.	Dib. Topográfico. Dib. de Lavado de Órdenes Arquit.

Cuadro 6.2. Estudios de la Escuela Preparatoria (R. D. de 6 de noviembre de 1848).

Para acceder a la Escuela Preparatoria de Ingenieros y Arquitectos se exigía un examen de acceso sobre las siguientes materias: Geometría Especulativa y Práctica; Trigonometría Rectilínea y Esférica con el uso de las tablas logarítmicas; Aplicación del Álgebra a la Geometría, incluidas las superficies de segundo grado; Dibujo Lineal o de Figura; y Traducción del francés. En definitiva, hasta comenzar los estudios técnicos de la correspondiente escuela especial, los conocimientos de matemáticas se validaban con el examen de acceso y otros en los cursos preparatorios.

En el nivel más elemental de la formación matemática se pueden encontrar los contenidos de aritmética, que, entre 1845 y 1855, tuvieron una de sus referencias en la traducción de la obra de Bourdon, utilizada en segunda enseñanza (1847-1850), en la Escuela Preparatoria (1848-1855), en los estudios elementales de las escuelas de Industriales (1851) o en el examen de ingreso para la Escuela de Caminos (1857).

Para el estudio del cálculo diferencial, entre otros temas, se utilizaba la obra de Navier, traducida por el arquitecto Eugenio de la Cámara, que fue seguida en la Facultad de Ciencias (1847-1868), en los estudios de ampliación de la Escuela de Ingenieros Industriales (1851), en la Escuela de Arquitectura (1861-1864), en la Escuela Preparatoria (1848-1855), en el examen de ingreso de la Escuela de Montes (1859) y en el Colegio de Artillería de Segovia (1865).

En geometría descriptiva, tres libros muy utilizados en su enseñanza en el período 1845-1857 fueron los de los franceses Leroy⁵⁰, Olivier⁵¹ y

⁵⁰ Este texto también fue usado en la Facultad de Ciencias (1858-1861 y 1867-1868), en la Escuela de Industriales (1851-1852), en la Preparatoria (1848-1855), en la de Montes (1870-1871 y 1873-1874), en la de Minas (1859-1860 y 1870-1871) y en la de Caminos (1870-1871).

⁵¹ Usado además en la Facultad de Ciencias (1858-1867), en la Escuela de Industriales (1851-1852), en la de Arquitectura (1861-1864), en la de Montes (1870-1871 y 1873-1874), en la de Minas (1859-1860 y 1870-1871) y en la de Caminos (1870-1871).

Adhémar⁵². Obligada referencia hay que hacer al establecimiento de los estudios de Ingeniería Industrial, según el R. D. de 4 de septiembre de 1850, poniendo el acento en la enseñanza de ampliación⁵³ de las escuelas industriales⁵⁴.

Según el mencionado plan de estudios de 1850, las matemáticas se imparten en los dos primeros cursos, donde aparecen las asignaturas de Ampliación de Álgebra y de Geometría, Geometría Analítica y Cálculo Infinitesimal con sus principales aplicaciones, Geometría Descriptiva y Continuación de la Geometría Descriptiva con sus aplicaciones; es decir, cuatro asignaturas cuatrimestrales de clase diaria, las tres primeras en el primer curso y solo la última en el segundo curso de los estudios de ampliación⁵⁵. Los libros de texto⁵⁶ utilizados en estas asignaturas a partir⁵⁷ del curso 1851-1852⁵⁸ fueron, para Ampliación de Álgebra y de Geometría:

⁵² El uso de esta obra superó la Ley Moyano: en la Facultad de Ciencias (1867-1868), en la Escuela de Industriales (1851-1852), en la de Arquitectura (1861-1864), en la de Montes (1870-1871 y 1873-1874), en la de Minas (1859-1860 y 1870-1871) y en la de Caminos (1870-1871).

⁵³ Las matemáticas en la enseñanza elemental se correspondían con los *Elementos de matemáticas*, impartidos en los institutos de segunda enseñanza. En la enseñanza superior del Real Instituto Industrial de Madrid no había ninguna asignatura de matemáticas. Para acceder a este segundo nivel de formación técnica se exigía cumplir alguna de las tres condiciones siguientes: 1) estudiar y aprobar los dos primeros cursos de la enseñanza elemental; 2) estudiar y aprobar los tres cursos de la Escuela Normal Superior de Instrucción Primaria (maestro superior); 3) estudiar en un centro público y aprobar un examen de Gramática Castellana, los dos años de Matemáticas Elementales, y Dibujo Lineal y de Figura o de Adorno. Esta última condición era la más parecida a un examen de ingreso, pero resulta evidente que las escuelas industriales no nacieron con el espíritu elitista del resto de las escuelas especiales.

⁵⁴ Un estudio fundamental para el conocimiento de las matemáticas en las escuelas industriales es el de G. LUSA MONFORTE, 1975.

⁵⁵ Durante los tres primeros cursos se imparte la asignatura de Delineación o Delineación y Modelado, de eminente carácter práctico, que tiene vínculos con la de Geometría Descriptiva.

⁵⁶ *Gaceta de Madrid* del 24 de septiembre de 1851. Algunos de los libros de texto son semejantes a los de segunda enseñanza —las asignaturas de nivel elemental—, y otros coinciden con los de la Facultad de Filosofía (sección de Ciencias) o con los usados en las academias militares. Para valoraciones comparativas de libros de texto usados en el segundo tercio del siglo XIX puede verse F. VEA MUNIESA, 1996.

⁵⁷ Con algunos cambios poco significativos, se usaron hasta el curso 1857-1858.

⁵⁸ En el período 1858-1868 hay que tener en cuenta que tanto la Escuela de Industriales como la de Agrónomos estudiaban los contenidos matemáticos en la Facultad de Ciencias, y, por lo tanto, siguiendo los libros de texto, que aparecían en listas cada tres años. En la de 1867, publicada en la *Gaceta de Madrid* de los días 24 y 25 de septiembre de 1867, figuran las obras empleadas en la Escuela de Ingenieros Industriales, pero no las de Agrónomos. En las mismas listas figuran las obras utilizadas en la Escuela de Arquitectura (en Geometría Descriptiva, Olivier, Adhémar y Vallée; en Geometría Analítica, Lefébure de Fourcy, Cortázar y Zorraquín; en Cálculo Diferencial e Integral, Navier, Boucharlat y García San Pedro; y en Topografía, Giol-Goyanes, Clavijo y Carrillo de Albornoz) y en otros centros de formación especial (Náutica, Construcción Naval, Maestros de Obras, Aparejadores y Agrimensores...).

Azofra⁵⁹ (Geometría), Cortázar (Álgebra y Geometría), Oriol y Bernadet (Álgebra), Jariez (Álgebra), Bourdon (Álgebra), Lefébure de Fourcy (Álgebra), Bergery (Geometría), Dupin (Geometría), Vincent (Geometría) y Legendre (Geometría); para Geometría Analítica: Biot, Bourdon, Lefébure de Fourcy y Leroy; para Cálculo Infinitesimal⁶⁰ con sus principales aplicaciones: Lacroix, Navier, Cournot y Duhamel; y para Geometría Descriptiva con sus aplicaciones: Monge, Leroy, Olivier y Adhémar (utilizados también en la Escuela Preparatoria).

Muchos de los textos de la lista habían estado, y seguirían estando, presentes en la formación matemática en la España de los dos primeros tercios del siglo XIX. Con pequeños cambios, esta situación se mantuvo hasta la supresión del Real Instituto Industrial en 1867⁶¹.

II.3. *Las matemáticas en las academias militares*

Para la artillería y la ingeniería militar la década de los años treinta constituyó una etapa de apertura en la que se retomó la idea —puesta ya en práctica en el Setecientos— de la realización de viajes de conocimiento y observación fuera de nuestras fronteras. Así, José Odriozola en los años 1834 y 1835 y Fernando García San Pedro en 1838 se desplazaron por Europa con el objeto de conocer aspectos militares, científicos, industriales y educativos de otros países.

El viaje de García San Pedro sirvió de base para la publicación, en 1839, del reglamento más duradero de la Academia de Ingenieros, que rigió durante treinta años el funcionamiento de este centro. En él se fijaba un plan de estudios de cuatro años de duración donde los conocimientos matemáticos se exigían en el examen de ingreso y en el primer curso académico. Por el contrario, en el período 1833-1857, el Colegio de Artillería tuvo cambios de ubicación, de nombre —pasó a denominarse *Escuela Especial y Escuela de Aplicación*— y, sobre todo, de planes de estudios.

Si se comparan los estudios matemáticos exigidos en la formación de los ingenieros militares —con el plan de estudios de 1839— y de los artilleros —considerando, por ejemplo, su plan de 1845—, la situación es similar a la observada en ambos centros en épocas anteriores, aunque en este momento los artilleros cuentan con un examen de ingreso, con el que, según el nivel de conocimientos superados, pueden evitarse determinados cursos. También es posible iniciar en la Escuela Especial de Artillería un nivel básico de conocimientos matemáticos hasta alcanzar progresivamente los contenidos fijados en los estudios.

⁵⁹ La obra de Manuel M.^a de Azofra, publicada en 1838, tenía un contenido más amplio que la geometría: *Curso industrial o lecciones de aritmética, geometría y mecánica, aplicadas a las artes*.

⁶⁰ Un estudio de esta materia a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX puede verse en G. LUSA MONFORTE, 1994.

⁶¹ La Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona quedó como referente hasta la puesta en marcha de la Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao en 1899. Habría que esperar a 1901 para el restablecimiento en Madrid de la Escuela Central de Ingenieros Industriales, por R. D. de 17 de agosto. Véase M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, pp. 94-282.

Matemáticas	Ingenieros militares (1839, cuatro años de formación)	Artilleros (1845, seis años de formación como máximo)
Examen de ingreso	Aritmética, Álgebra, Geometría, Trigonometría Rectilínea, Geometría Práctica	Se efectuaban exámenes de Aritmética, Álgebra, Geometría y Trigonometría; según las materias que se aprobaban, se pasaba a primero, segundo o tercer curso
Primero	Cálculo Diferencial e Integral, Geometría Analítica y Aplicaciones Teóricas de los Cálculos, Trigonometría Esférica, Geometría Descriptiva y sus Aplicaciones	Aritmética, Álgebra
Segundo		Geometría, Trigonometría, Álgebra Superior
Tercero y cuarto		Álgebra Superior, Geometría Analítica, Geometría Descriptiva y sus Aplicaciones, Cálculo Diferencial e Integral

Cuadro 6.3. Las matemáticas en los planes de estudios de enseñanza militar de ingenieros (1839) y artilleros (1845).

Con respecto a los manuales utilizados para la matemática elemental en la enseñanza de Artillería e Ingenieros, ambos centros aconsejan textos franceses como los de S.-F. Lacroix (1765-1843), P.-L. Cirodde (1749-1849), L.-P.-M. Bourdon (1779-1854) y A.-M. Legendre (1752-1833). También, de autores españoles: los ingenieros se inclinan más por los libros de J. Feliu (1787-1867) o J. Córdazar (1809-1873), y los artilleros, por los de J. Odrizola (1785-1864) y J. M. Vallejo (1779-1846). Para la matemática superior, cada centro, prácticamente, tuvo su propia producción, realizada por sus respectivos profesores, e incluso libros de texto sobre la misma materia se publicaron casi al mismo tiempo.

Una obra escrita para la enseñanza en la Academia de Ingenieros del Ejército y adoptada como tal fue el *Tratado de topografía y agrimensura* del profesor y general de dicho cuerpo Mariano Carrillo de Albornoz (1784-1860)⁶², publicada en 1838, aunque el propio autor señala que se trata de una modificación de la escrita en la segunda década del siglo XIX. El texto, que consta de cinco partes y un anexo, desarrolla los contenidos de la trigonometría rectilínea y sus aplicaciones a la topografía, en particular a la agrimensura. En la quinta parte incluye el estudio del dibujo topográfico y, en el anexo, la aplicación de todos los conceptos anteriores a la geodesia. Esta obra, cuyos contenidos conforman un texto de nivel superior al de la segunda enseñanza,

⁶² A este autor se le adjudica la traducción de la *Trigonometría* de Françoëur, pero, al no haber sido localizada, no puede constatar el hecho.

va a ser incluida en las listas de textos para secundaria de los años 1847 y 1849⁶³, y para las escuelas industriales en 1851. Ello supone un nuevo caso de tratado escrito para la enseñanza militar que se incorpora a la formación civil.

Para uso en la Academia de Ingeniería Militar varios profesores redactaron distintos manuales. Así, García San Pedro escribió sobre *Geometría analítica* (1840) —en realidad, era la unión de esta con el cálculo diferencial, es decir, geometría diferencial—, Ángel Rodríguez Arroquía elaboró el *Complemento a la geometría descriptiva: empleo de un solo plano de proyección valiéndose del sistema de acotaciones* (1850) y Manuel Díez de Prado compuso sus *Lecciones de trigonometría esférica y geometría analítica* (1852).

Para Artillería, además de que las obras de Odriozola continuaban reeditándose, José Bielsa compuso el *Tratado elemental de geometría descriptiva y sombras* (1846) y Francisco Sanchiz y Castillo⁶⁴ escribió tres manuales: *Cálculo diferencial* (1851), *Geometría analítica* (1851) y *Elementos de trigonometría* (1852).

El *Tratado de cálculo diferencial* de Sanchiz es importante, ya que se trata del primer texto escrito por un profesor militar en el que se observa la aceptación de la obra de Cauchy y en el que claramente se indica que el desarrollo de las funciones en serie no puede ser un principio sobre el que fundamentar el cálculo diferencial, sino más bien una aplicación de este. Tan importante apreciación es algo que los profesores de la Academia de Ingeniería, defensores de las ideas de García San Pedro, que había fundado su cálculo en el desarrollo en serie, no consiguieron desterrar de sus textos. También se puede destacar que en 1847, al crearse la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en Madrid, los militares Odriozola y García San Pedro fueron de los primeros académicos de la sección de Exactas. Posteriormente, algunos de los profesores citados antes (Sanchiz Castillo, Carrillo de Albornoz y Rodríguez Arroquía) también fueron nombrados académicos.

A pesar de que existió la posibilidad de acceder a la enseñanza común —a través del Colegio General Militar—, y después realizar la especialización correspondiente de las distintas armas y cuerpos del Ejército, la realidad es que ello no afectó a la formación de los ingenieros ni de los artilleros, y, finalmente, mediado el siglo XIX, la idea de formación común dejó de considerarse, lo que dio lugar a un amplio abanico de centros de enseñanza militar, diferenciados y propios para cada especialidad. En el Colegio General Militar, y desde su fundación en la Década Ominosa, había ejercido la docencia el sacerdote Jacinto Feliu de la Peña (1787-1867), quien para este centro

⁶³ *Gaceta de Madrid* de los días 11 de septiembre de 1847 y 25 de septiembre de 1849. En ambas se incluye una nota que señala que la obra «es demasiado extensa para servir de texto en la segunda enseñanza».

⁶⁴ Al igual que García San Pedro y Odriozola, también Rodríguez Arroquía y Sanchiz Castillo fueron comisionados para estudiar y conocer aspectos militares, científicos e industriales de otros países europeos.

escribió el *Tratado elemental de matemáticas* (1847-1848), que consta de seis volúmenes: *Aritmética*, *Álgebra*, *Geometría*, *Trigonometría*, *Aplicación del álgebra a la geometría o geometría analítica* y *Cálculo diferencial e integral*.

Comparando los cuatro primeros tomos del *Tratado* con los de matemática elemental publicados en torno a las mismas fechas por Juan Cortázar, se observa que ambos separan el desarrollo de la aritmética del álgebra, en contraposición con José Odriozola o con Bourdon, que defienden la unión de estas dos disciplinas. Respecto a la aritmética, ambos autores presentan similares contenidos, salvo por la carencia de desarrollo concreto y específico del sistema métrico decimal en Feliu; además, su exposición de la aritmética es más tradicional que la de Cortázar⁶⁵. En álgebra, los dos presentaron el tema de las progresiones aritméticas y geométricas y los logaritmos con un enfoque algebraico. En cuanto a geometría, Feliu reflejó los contenidos habituales de los textos de geometría elemental, elevando el nivel al incluir un apéndice sobre secciones cónicas que no aparecía en las primeras ediciones de la obra de Cortázar⁶⁶. En trigonometría ambos autores desarrollaron tanto la rectilínea como la esférica, dedicando un amplio espacio a los problemas, y como aplicación de esta se exponían las nociones más elementales de topografía.

III

DE LA LEY MOYANO A LA RESTAURACIÓN (1857-1874)

La Ley de Instrucción Pública de 9 de septiembre de 1857, conocida como *Ley Moyano*, marca un antes y un después en la historia de la educación en España.

III.1. *La Facultad de Ciencias*

La Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales se establece, con el mismo nivel que las tradicionales facultades mayores, en el artículo 31 de la Ley Moyano, que en sus artículos 34 y 35 desarrolla esquemáticamente los contenidos correspondientes a las tres secciones en que subdivide la Facultad: Ciencias Físico-Matemáticas, Ciencias Químicas y Ciencias Naturales. Su enseñanza tiene un particular interés por los períodos en que estuvo vinculada con la formación preparatoria de las escuelas especiales; por ello, se van a mostrar algunos aspectos puntuales de las matemáticas que se enseñaron en esta nueva Facultad a través de algunos planes de estudios y de los libros de texto utilizados.

En el plan de estudios de 23 de septiembre 1857 se puede encontrar la primera estructura curricular de la Facultad de Ciencias. Los tres primeros cursos son comunes

⁶⁵ Véase la comparación entre la parte de aritmética de Feliu y de Cortázar en M.^a Á. VELAMAZÁN y F. VEA, 1988.

⁶⁶ En posteriores ediciones se incluyó como complemento de la geometría elemental.

a las tres secciones y permiten obtener el grado de bachiller⁶⁷; los cursos cuarto y quinto, específicos de cada sección, conducen al grado de licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas, en Ciencias Químicas o en Ciencias Naturales; con los cursos sexto y séptimo de cada sección se alcanzaba el correspondiente grado de doctor.

Primero	Segundo	Tercero	Cuarto	Quinto
Álgebra	Geom. y Trigon.	Historia Natural	Geom. Analítica	C. Dif. e Integral
Física	Química	Ejerc. Gráficos	Geom. Descript.	Geog. Astron.

Cuadro 6.4. Grado de licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas (plan de 1857).

El cuadro anterior muestra los contenidos correspondientes a la sección de Ciencias Físico-Matemáticas en los cinco cursos de la licenciatura⁶⁸, pudiéndose decir que en el período de grado de bachiller en la Facultad de Ciencias las asignaturas de contenido matemático eran una ampliación de los Elementos de Matemáticas correspondientes a la segunda enseñanza. Las asignaturas de mayor nivel matemático se impartían en el grado de licenciado. Con escasas modificaciones, excepto las realizadas en el Sexenio Revolucionario (1868-1874), este plan de estudios rigió la vida académica de la Facultad de Ciencias hasta la publicación del plan de estudios de 27 de octubre de 1875.

Los contenidos de las asignaturas pueden conocerse a través de los textos utilizados en 1858-1868, que aparecían en listas oficiales⁶⁹. Así, para Complemento de Álgebra —junto a Geometría y Trigonometría Rectilínea y Esférica, cuando se incluían ambas materias— se propusieron como libros de texto para todo el período los de Cortázar, Bourdon y Cirodde. Para Geometría Analítica, en los mismos años estuvieron presentes las obras de Cortázar y Gómez de Santa María, mientras que la de Zorraquín fue sustituida en el curso 1867-1868 por la de Lefébure de Fourcy. En Cálculo Diferencial e Integral, las tres obras señaladas para la Facultad de Ciencias fueron las de Navier (traducida por Cámara), Boucharlat (traducida por Campo) y Gar-

⁶⁷ No debe confundirse el grado de bachiller en artes o en segunda enseñanza con el grado de bachiller en la Facultad de Ciencias.

⁶⁸ Como se ha dicho, los contenidos matemáticos son comunes en los tres primeros cursos para las tres secciones. Solamente en la sección de Químicas se va a estudiar en lección diaria, en el quinto curso, la asignatura matemática de Geometría Analítica.

⁶⁹ En F. VEA MUNIESA, 1998, puede verse la relación de todas las asignaturas, publicada en 1858 y con tres años de vigencia. Posteriormente aparecerían nuevas listas en 1861, 1864 y 1867. Sobre las cuatro asignaturas de matemáticas de la Facultad de Ciencias se exponen contenidos y vigencia de las obras utilizadas.

cía San Pedro⁷⁰. Por último, en la asignatura de Geometría Descriptiva se utilizaron exclusivamente obras de autores franceses. Solo la de Vallée cubrió todo el período, mientras que la de Leroy fue texto oficial entre 1858-1861 y 1867-1868; la de Olivier, entre 1858 y 1867; la de Lefébure de Fourcy, en 1861-1867; y la de Adhémar, solo en el curso 1867-1868. En definitiva, las obras de autores franceses, en versión original o traducida, son mayoritarias en la primera década de funcionamiento de la Facultad de Ciencias, acompañadas por otras de profesores de enseñanza militar de la primera mitad del siglo XIX, y únicamente la presencia de textos del catedrático de la Facultad Juan Cortázar muestra la incorporación de nuevos autores de textos para el sistema educativo liberal.

Para detallar los contenidos de algunas de las asignaturas se pueden considerar los textos de Juan Cortázar de mayor nivel matemático, destinados a los alumnos de su cátedra de Álgebra Superior y Geometría Analítica, que se publican fundamentalmente a partir de la Ley Moyano de 1857⁷¹. Así, su *Complemento del álgebra* ve aparecer la tercera edición en 1864, el *Tratado de geometría analítica* tiene en 1862 la segunda y en 1867 la tercera, y el *Tratado de álgebra superior* llega a su segunda edición en 1858⁷². En el *Tratado de Geometría Analítica*, tras un breve repaso de los conceptos elementales, el autor estructura los contenidos en geometría analítica plana (ecuaciones de las líneas y estudio de las líneas de segundo orden) y geometría analítica del espacio (ecuaciones de las superficies y de las líneas y estudio de las superficies de segundo orden).

El *Tratado de álgebra superior*, en otras ediciones titulado *Complemento de álgebra*, dividido en seis partes, comienza con el estudio de las fracciones continuas y de las funciones derivadas, continúa con la teoría general de ecuaciones, su resolución numérica, las ecuaciones recíprocas y la resolución algebraica de las ecuaciones de tercer y cuarto grados, con la resolución trigonométrica de la de tercer grado, y acaba con el estudio de las series y de máximos y mínimos de funciones de una variable, y con la descomposición en fracciones simples de una función racional. A partir de 1868 desaparecieron las listas oficiales de libros de texto y se pasaría —según las épocas— a

⁷⁰ Resulta significativo que las tres obras correspondan a dos traducciones del francés, las de Eugenio de la Cámara (arquitecto, que fue catedrático de la Facultad de Ciencias y vicepresidente cuarto del fugaz Instituto de Ingenieros Civiles en 1865) y Jerónimo del Campo (ingeniero de caminos, canales y puertos y profesor de la Escuela de Caminos), junto al texto del ingeniero militar. Sobre la evolución de los libros de texto de matemáticas en este período puede verse F. VEA MUNIESA, 1996.

⁷¹ En ambas asignaturas fueron libros de texto oficiales en el período 1858-1868.

⁷² Debe tenerse en cuenta que el estudio del álgebra lo desarrolló Cortázar, tanto en su parte elemental como en la superior, conjuntamente dentro del *Tratado de álgebra*, como puede verse en la segunda edición de este, de 1849. El escaso número de alumnos de la Facultad de Ciencias no permitió que las obras tuvieran tantas reediciones como las destinadas a la segunda enseñanza.

recibir una autorización para su uso⁷³. En todo caso, en el Sexenio Revolucionario empezó a publicarse un mayor número de libros de texto, cuyos autores veían en la edición tanto un mérito profesional⁷⁴ como una forma de incrementar sus ingresos.

III.2. *La formación matemática de los ingenieros*

La Ley de Instrucción Pública de 1857 incluye los estudios de ingeniería como una parte más del sistema educativo. En su capítulo II, «De las enseñanzas superiores», artículo 47, se indican las siguientes: Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos, Ingeniería de Minas, Ingeniería de Montes, Ingeniería Agrónoma, Ingeniería Industrial, Bellas Artes, Diplomática y Notariado.

La preparación científico-matemática, previa a los estudios técnicos, se realizó en el período 1857-1874 de dos formas diferenciadas: Facultad de Ciencias (1858-1859, 1866-1868) y examen de ingreso (1857-1858, 1859-1866, 1868-1874). Comenzando por la Facultad de Ciencias, apenas tres cursos rigió la idea de estudiar determinadas asignaturas preparatorias para las escuelas especiales: el de 1858-1859, consecuencia de las ideas de la Ley Moyano, y los de 1866-1867 y 1867-1868, en los que la ideología más conservadora regía los destinos de España.

Asignaturas	Caminos	Minas	Montes	Agrónomos	Industriales
Comp. Álgebra, Geomet. y Trigon. R. y E.	X	X	X	X	X
Geometría Analítica en dos y tres dimensiones	X	X	X	X	X
Cálculos Difer., Integ., de diferencias y var.	X	X			X
Geometría Descriptiva	X				X
Mecánica	X	X			X
Geodesia	X				
Física Experimental	X	X		X	X
Química General	X	X		X	X
Zool., Bot. y Mineralogía con noc. de Geol.	X	X	X	X	X

Cuadro 6.5. Asignaturas que se habían de cursar en la Facultad de Ciencias (R. D. de 20 de septiembre de 1858).

⁷³ A pesar de la libertad de uso de libros de texto a partir de 1868, se siguieron imponiendo obras, fundamentalmente de los catedráticos de Madrid, pero comenzaron a publicarse textos de profesores *de provincias*.

⁷⁴ La elaboración de libros de texto servía como mérito dentro del escalafón de catedráticos, lo que, en el caso universitario, suponía pasar de *catedrático de entrada* a *catedrático de ascenso*, y de ahí a *catedrático de término*.

Como puede observarse, son los estudios de Ingeniería de Caminos, de Minas e Industrial⁷⁵ los que mayor vinculación tienen con los cursos de la Facultad de Ciencias; mientras tanto, los de Montes y Agrónoma se limitan a dos asignaturas de matemáticas. A pesar de la alta exigencia de contenidos previos, para acceder a la correspondiente Escuela de Ingenieros se realizaba un examen general de las asignaturas cursadas en la Facultad de Ciencias⁷⁶.

En el período 1855-1866⁷⁷ puede establecerse una síntesis de las condiciones requeridas para acceder a las Escuelas de Ingeniería de Caminos, de Minas y de Montes utilizando distintas disposiciones legales⁷⁸. Como requisitos básicos de matemáticas para presentarse al examen de ingreso, se podrían señalar cuatro asignaturas elementales —Aritmética, Álgebra, Geometría (con algunas nociones de Topografía) y Trigonometría (Rectilínea y Esférica)—, y junto a ellas aparece otra de mayor nivel matemático como es la Geometría Analítica. Con esta exigencia previa a la entrada en

Asignaturas	Caminos (1865)	Minas (1859)	Montes (1862)	Agrónomos (1860)	Industriales (1867)
Comp. Álgebra, Geomet. y Trigon. (1.º)				X (FC)	X (FC)
Geometría Analítica en tres dimens. (1.º)		X		X (FC)	X (FC)
Cálculo Infinitesimal (1.º)	X	X	X	X (2.º) (FC)	
Geometría Descriptiva (parte elemental) (1.º)	X	X	X	X (2.º) (FC)	
Topografía (1.º)			X		
Estereometría (2.º)			X		
Aplicaciones de Geometría Descriptiva (2.º)	X (1.º)	X			
Geodesia (2.º)	X		X		
Dibujo (y Prácticas)	X (1.º-6.º)	X (1.º-5.º)	X (1.º-4.º)	X (1.º-5.º)	

Cuadro 6.6. Asignaturas de matemáticas en los planes de estudios de ingeniería (1859-1867). [FC: Facultad de Ciencias].

⁷⁵ La elevada exigencia abarcaba asignaturas de los cinco cursos de la licenciatura en la Facultad de Ciencias, en sus tres secciones.

⁷⁶ Además del examen, se exigía el bachiller en artes, requisito un tanto redundante, porque era necesario para entrar en la Facultad de Ciencias.

⁷⁷ Salvo el curso 1858-1859, en el que se debían hacer los estudios previos en la Facultad de Ciencias, aunque esto no eliminó el examen de acceso.

⁷⁸ Reales decretos de 10 de agosto de 1855 y de 11 de septiembre de 1865 para Caminos; de 11 de enero de 1849, de 2 de julio de 1856 y de 21 de septiembre de 1859 para Minas; y de 18 de mayo de 1862 para Montes.

las escuelas especiales, cabría preguntarse qué contenidos matemáticos quedaban para impartirse dentro de las escuelas de Ingeniería⁷⁹.

Puede observarse que, además de requerir el examen de ingreso —con una menor exigencia de conocimientos matemáticos—, en la década siguiente, de forma excepcional, se incorporó el Cálculo Infinitesimal a los planes de estudios de las escuelas de Ingeniería, ya que la Geometría Descriptiva sí fue una materia estudiada habitualmente en ellas. Las asignaturas de matemáticas que se requerían en las escuelas de Ingeniería en este período eran Cálculos⁸⁰ y Geometría Descriptiva y sus aplicaciones⁸¹, junto con las aplicaciones de esta a otras materias de vinculación matemática, como Geodesia⁸², Geometría Subterránea⁸³ y Dibujo Lineal y Topográfico⁸⁴.

Analizando los libros de texto utilizados, se pueden conocer los contenidos matemáticos enseñados o exigidos en el período 1857-1868, donde las listas oficiales de libros de texto de obligado uso se implantaron en todos los niveles educativos⁸⁵. En la asignatura de Geometría Analítica, una referencia habitual fue la obra de Juan

⁷⁹ Se han incorporado al cuadro comparativo los estudios de Ingeniería Industrial, según los reales decretos de 20 de agosto de 1858 y de 8 de septiembre de 1860, y de Agrónomos, según el R. D. de 20 de agosto de 1858 y el reglamento de 6 de febrero de 1867. En ambos casos las asignaturas de contenido matemático se impartían en la Facultad de Ciencias (FC en el cuadro 6.6).

⁸⁰ Siguiendo la más detallada exposición de contenidos, la de Caminos, esta comprendía ideas generales de análisis algebraico, cálculo diferencial, cálculo integral, incluida la teoría de las trascendentes elípticas, cálculo de variaciones y cálculo de diferencias finitas.

⁸¹ De manera análoga, sus contenidos eran la exposición de los principios generales y la teoría de giros y cambio de planos de proyección, la aplicación de los principios y teorías anteriores a problemas de rectas y planos de intersección de poliedros, la aplicación de los mismos principios a problemas de curvas y superficies, incluida la intersección de estas últimas y la teoría de los contactos, y la curvatura de superficies; además, como complemento de la geometría descriptiva se daría una idea de otros sistemas de representación, como el método de los planos acotados, etc.

⁸² Para la que se establecían los siguientes contenidos: topografía, en la que se trataba primero el levantamiento de planos de corta extensión, luego la nivelación topográfica y finalmente la agrimensura; geomorfía terrestre, en la que se estudiaban los métodos y los instrumentos empleados para llevar a cabo los grandes trabajos geodésicos; geomorfía astronómica, como complemento de la anterior, incluida la gnomónica, y diversos sistemas de representación para el dibujo topográfico y las cartas geográficas.

⁸³ En la Escuela de Minas también se impartía la Geometría Analítica en tres dimensiones, porque no se exigía en el examen de ingreso. Respecto a la Geometría Subterránea, los contenidos eran levantamiento de planos de minas, cálculo y determinación de las curvas de nivel, dirección para fijar los puntos de rompimiento y manera de demarcar las pertenencias con la brújula y otros instrumentos.

⁸⁴ La asignatura era una prolongación práctica de la Geometría Descriptiva y era impartida por el profesor de esta asignatura.

⁸⁵ A partir de 1875 también se van a señalar libros de texto de referencia, pero sin el marcado carácter impositivo del final del segundo tercio del siglo XIX.

Cortázar⁸⁶, en la Escuela de Arquitectura (1861-1868) y en el examen de ingreso de la de Caminos (1859), la de Minas (1859-1867) y la de Montes (1863-1867).

En la Escuela de Arquitectura (1861-1864) y en el examen de ingreso de la de Montes (1859), para el estudio del Cálculo Diferencial se utilizaba, entre otras obras, el *Resumen de las lecciones de análisis*⁸⁷ de Navier, traducido por el arquitecto Eugenio de la Cámara, que consta de dos tomos. El primero comienza con una introducción que incluye nociones sobre funciones, series, continuidad y derivabilidad⁸⁸. Expone en profundidad los temas de derivadas y diferenciales de funciones de una y varias variables, el polinomio y el desarrollo en serie de Taylor, el estudio de máximos y mínimos y la aplicación de las derivadas a la geometría en dos y tres dimensiones, geometría diferencial. En el segundo tomo se aborda la integración de funciones (métodos elementales, por series, integración definida y sus aplicaciones geométricas), la resolución de ecuaciones diferenciales y en derivadas parciales, así como el cálculo de variaciones, todo ello con aplicaciones a la geometría (superficies). En *Geometría descriptiva*, tres libros muy utilizados en su enseñanza fueron los de Leroy⁸⁹, Olivier⁹⁰ y Adhémar⁹¹.

Entre 1854 y 1868 fue profesor de la Escuela de Caminos José Echegaray Eizaguirre (1832-1916). Durante su período de docencia, las asignaturas que impartió⁹² fueron Estereotomía, Cálculo Diferencial e Integral —que fue la disciplina que más veces enseñó—, Mecánica Racional, Mecánica Aplicada a las Construcciones, Geometría Descriptiva, Aplicaciones de la Geometría a las Sombras y a la Perspectiva, Hidráulica y,

⁸⁶ De este mismo autor se utilizaba el *Tratado de trigonometría y topografía*, que fue reeditado hasta el siglo xx (23.^a ed., en 1910), en las Escuelas de Montes (ingreso 1861, 1878 y 1899), de Agrónomos (1878, ingreso en 1893 y 1900), de Minas (ingreso en 1894) y General Preparatoria (ingreso en 1887 y 1889). Las obras de Cortázar se reeditaron con las correcciones de su hijo, el ingeniero de minas Daniel Cortázar. La *Geometría analítica* se seguía usando para el ingreso en la Escuela de Montes (1878 y 1881). Las cuatro partes de *Elementos de matemáticas* continuaban usándose en el examen de ingreso a la Escuela de Montes (1881).

⁸⁷ Llevaba por subtítulo *Dadas en la Escuela Politécnica de París por Mr. Navier con las notas de Mr. Liouville*. Eugenio de la Cámara, además de traducirlo, incluyó una introducción y unas notas.

⁸⁸ En el tema de derivabilidad incluye una exposición de los tres desarrollos históricos: la teoría de fluxiones, las cantidades infinitamente pequeñas y el método de los límites.

⁸⁹ Usado en la Facultad de Ciencias (1858-1861 y 1867-1868), en la Escuela de Industriales (1851-1852), en la Preparatoria (1848-1855), en la de Montes (1870-1871 y 1873-1874), en la de Minas (1859-1860 y 1870-1871) y en la de Caminos (1870-1871).

⁹⁰ Utilizado en la Facultad de Ciencias (1858-1867), en la Escuela de Industriales (1851-1852), en la de Arquitectura (1861-1864), en la de Montes (1870-1871 y 1873-1874), en la de Minas (1859-1860 y 1870-1871) y en la de Caminos (1870-1871).

⁹¹ Empleado en la Facultad de Ciencias (1867-1868), en la Escuela de Industriales (1851-1852), en la de Arquitectura (1861-1864), en la de Montes (1870-1871 y 1873-1874), en la de Minas (1859-1860 y 1870-1871) y en la de Caminos (1870-1871).

⁹² Véase J. M. SÁNCHEZ RON, 2004, pp. 615-616.

algunas veces, interinamente, Distribución de Aguas. En varias ocasiones Echegaray se expresó sobre la aportación de la Escuela de Caminos a las matemáticas en España:

En lo que va de siglo, grandes esfuerzos se han hecho en nuestra patria para salir [del] estado tan vergonzoso [en que estaba la matemática en España] [...]. En esta obra, que pudiéramos llamar *de regeneración matemática*, la Escuela de Caminos ha tenido una parte importantísima. Merced a su influjo, a la severidad de sus exámenes de ingreso, y a la preferencia que siempre dio a los estudios matemáticos puros, formose, en pocos años, un profesorado libre⁹³ de matemáticas elementales⁹⁴.

Siguiendo a Sánchez Ron⁹⁵ en el estudio de la contribución científica de Echegaray se puede tener un análisis de su trabajo en matemáticas. El primer libro que este publicó para la enseñanza en la Escuela fue un pequeño texto de 68 páginas titulado *Cálculo de variaciones* (1858). Esta obra surgió de sus clases de Cálculo Diferencial e Integral, para las que utilizaba la *Teoría de las funciones y del cálculo infinitesimal* de Cournot, pero, al parecer, con el fin de hacerlo más comprensible, elaboró este manual. En 1865 redactó unas colecciones de problemas resueltos de geometría tituladas *Problemas de geometría plana* y *Problemas de geometría analítica*, destinadas a la Escuela de Caminos, para facilitar la comprensión de estos temas y para la preparación de los exámenes de ingreso.

En ese mismo año, Echegaray fue elegido miembro de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales; a partir de entonces sus aportaciones a la matemática española dieron un giro y se enfocaron más hacia la matemática pura, de la que fue un gran defensor, y constituyeron la introducción en España de determinadas teorías matemáticas. Así, con la *Introducción a la geometría superior* (1867) y la *Memoria sobre la teoría de los determinantes* (1868) introdujo, respectivamente, la geometría de Chasles y el trabajo con los determinantes. Posteriormente, continuando en esta línea, lo más reseñable de su actividad matemática fueron sus cursos en el Ateneo de Madrid sobre la teoría de Galois (1896-1898) —punto de inflexión entre el álgebra clásica y la moderna—, las funciones elípticas (1899-1901) y abelianas (1901-1902) y las ecuaciones diferenciales (1904-1905). Con todo ello, y aunque constituye una apreciación desmedida, no es de extrañar esta conocida frase del matemático Rey Pastor (1889-1962): «Para la Matemática española, el siglo XIX comienza en 1865, y comienza con Echegaray»⁹⁶.

⁹³ Se refiere a los profesores de las academias particulares en que se preparaba a los estudiantes para el examen de ingreso.

⁹⁴ J. ECHEGARAY, 1897, citado en J. M. SÁNCHEZ RON, 2004, p. 605.

⁹⁵ J. M. SÁNCHEZ RON, 2004.

⁹⁶ Frase pronunciada por J. REY PASTOR, 1915, p. 9, en el discurso inaugural de la sección primera (Matemáticas) del Congreso de Valladolid de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, con el tema *Los progresos de la matemática en España y los progresos de España en la matemática*.

Finalmente, en el período revolucionario (1868-1874), el estudio de las matemáticas en las escuelas de Ingeniería se podía cursar en la *enseñanza libre* y desapareció de los planes de estudios de los distintos centros, en los que difícilmente volvería a aparecer, salvo por lo que respecta a la geometría descriptiva, pero se exigía en el examen de ingreso.

III.3. *Las matemáticas en las academias militares*

Para la enseñanza militar, la Ley Moyano no produjo ningún cambio sustancial y en estos años las academias continuaron con su habitual elaboración de textos científicos. De 1857 a 1868, la geometría descriptiva fue la disciplina matemática sobre la que más profesores militares escribieron libros. En 1857, el oficial de infantería José Jiménez Baz publicó un texto sobre ella, y unos años más tarde, en 1866, el comandante de infantería A. Lozano Ascarza redactó otro manual. A esta misma fecha corresponde el *Tratado elemental de geometría descriptiva seguido de unas ligeras nociones sobre perspectiva y sombras* del artillero Luis Felipe Alix, que presenta mayor interés, ya que en él hay un breve capítulo dedicado a la perspectiva axonométrica. Las fuentes para la realización del manual son francesas —cita a Leroy, La Gournerie y Adhémar—. Este libro fue escrito trece años antes que la *Axonometría o perspectiva axonométrica* de Eduardo Torroja (1847-1918), a quien suele considerarse como el primer autor que abordó estas cuestiones en España. El texto de Alix consta de tres partes: la primera trata de rectas y planos; la segunda, de líneas y superficies; y la tercera, de perspectiva y sombras. A su vez, el apartado de perspectiva tiene cinco capítulos: «Principios generales», «Perspectiva de planos», «Perspectiva de elevaciones», «Perspectiva axonométrica» y «Perspectiva caballera». El capítulo cuarto, que es el dedicado a la axonométrica, tiene un total de 12 páginas, en las que se estudia la naturaleza y las características de dicha perspectiva —distinguiendo entre isométrica, monodimétrica y anisométrica— y finaliza, para su mejor comprensión, con la realización de tres ejercicios de aplicación.

En 1858 se publicó un texto de estadística debido al oficial de administración militar José Lasarte y Carreras. Titulado *Nociones de estadística*, fue escrito catorce años después del *Tratado elemental de estadística*, publicado en 1844 y 1845 (tomos I y II), de José María Ibáñez Ramos (1793-1856), considerado como el primer manual completo y detallado sobre estadística escrito por un español⁹⁷. El manual del oficial Lasarte se basa, entre otros autores y como él mismo afirma, en las teorías de Ibáñez, Dufau y Peuchet. El contenido de la obra de Lasarte es de nivel matemático elemental, pues el objetivo es establecer la metodología adecuada para la obtención de datos. Se estructura en dos partes, de forma que en la primera se sientan las bases de cómo recoger de manera correcta la información, los datos estadísticos y las normas que deben utilizarse, mientras que la segunda señala los diferentes campos de aplicación de la estadística.

⁹⁷ Esta afirmación se ha tomado de F. J. MARTÍN-PLIEGO LÓPEZ, 2008.

ca: territorio (delimitación del país), población (habitantes y su clasificación por edades o sexos), producciones naturales (agricultura, ganadería, minería, inmuebles rústicos y urbanos), industrias y artes (fábricas y manufacturas, artes y oficios), comercio (interior y exterior) y hacienda (impuestos y contribuciones).

La matemática aplicada, en materias como la topografía, la geodesia y los aparatos topográficos o geodésicos, tuvo sus cultivadores en los ingenieros militares A. Cayuela, Rafael Clavijo, Ángel Rodríguez Arroquía y Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero.

En 1863, el artillero Francisco Sanchiz y Castillo redactó para su Academia un texto de *Cálculo integral* —que completaba al de *Cálculo diferencial* publicado doce años antes—, pero no parece que tuviera gran utilización en su centro, ya que en 1865 se determinó usar el *Résumé des leçons d'analyse données à l'École Polytechnique* de Navier. Con este manual, y en estos años, la Facultad de Ciencias, la Ingeniería Civil⁹⁸ y la Artillería estaban de acuerdo en el libro oficial recomendado para el estudio de esta disciplina en España.

Al final de la década de los años sesenta se pueden observar varias modificaciones en el centro de Artillería⁹⁹ que la acercarán más a los planteamientos de enseñanza que ya realizaban tanto la ingeniería militar como la civil. En matemáticas, se elevó la exigencia de conocimientos en el examen de ingreso y el nuevo plan de estudios de 1868 ya no plasmaba un diseño tan gradual de los contenidos matemáticos, sino que presentaba un mayor nivel desde el principio. Al entrar España en el Sexenio Revolucionario (1868-1874), los centros de enseñanza militar variaron sus planes de estudios —aunque estos tuvieron tan corta duración como el Sexenio—, y para acceder a ellos por vez primera se hizo referencia a la segunda enseñanza realizada en los institutos. Para las academias de Artillería, Estado Mayor e Ingenieros la enseñanza se fijó en tres años y los contenidos matemáticos se concentraban en el examen de ingreso¹⁰⁰ y no volvían a impartirse en los años académicos. También en el período del Gobierno republicano (1873-1874) surgieron nuevos deseos de reformar la organización de la enseñanza militar. El decreto de 8 de julio de 1873 creó la Comisión de Reorganización del Ejército, que entre sus trabajos incluyó un proyecto (el cuarto) de Plan General de Instrucción del Ejército. El proyecto presentado, que no llegó a realizarse, planteaba la creación de un centro único de enseñanza denominado *Escuela Nacional Militar*. En el plan de estudios aparecía, por primera vez, la asignatura de Cálculo de Probabilidades, la cual debían cursar los alumnos que se preparasen para ser artilleros o ingenieros.

⁹⁸ En la Escuela de Montes y en la de Arquitectura.

⁹⁹ Como el R. D. de 23 de abril de 1867, que determinó la denominación de *academias* para todos sus centros y la edad de ingreso en los centros entre dieciséis y veintitrés años.

¹⁰⁰ La referencia a la enseñanza civil consistía en que las humanidades podían dejar de exigirse si se presentaba el certificado correspondiente de haberlas aprobado en un instituto de segunda enseñanza.

IV

LA RESTAURACIÓN BORBÓNICA (1874-1900)

La calma y la alternancia política se trasladaron en buena medida al terreno educativo. Solo el año que cierra este período muestra un hito significativo en la historia de la educación en España: el establecimiento del Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes. Antonio García Alix será el primer ministro en ocupar la nueva cartera.

IV.1. *Las matemáticas en la Facultad de Ciencias*

El plan de estudios de 27 de octubre de 1875¹⁰¹, además de reestructurar las secciones de la Facultad de Ciencias¹⁰², diferenciaba la formación a partir del tercer curso, ya que solo eran comunes los dos primeros. En la sección de Ciencias Exactas sorprende que no figure ninguna asignatura de contenido matemático en el primer grupo de materias, que se corresponden con las otras secciones de la Facultad. Puede observarse la ausencia de la asignatura de Geometría y Trigonometría en el nivel más elemental. Como cambios significativos respecto al plan de 1858 debe señalarse que la asignatura de Geometría Analítica pasa del cuarto curso al segundo, así como que las asignaturas de Mecánica y Geodesia pasan del período de doctorado —sexto curso— al cuarto curso de la nueva estructura de la Facultad de Ciencias. Con escasos cambios, más de denominación y de ordenación de las asignaturas que de estructura curricular, se cubrió el último cuarto de siglo de esta Facultad. La llegada en 1900 de Antonio García Alix resultó significativa porque estableció un nuevo plan de estudios, llamado *plan de las geometrías* por la proliferación de asignaturas con dicha denominación. En la exposición de motivos, el plan de estudios de 3 de agosto de 1900 establecía cuatro secciones para la Facultad de Ciencias: Exactas, Físicas, Químicas y Naturales¹⁰³. Como consecuencia de la reestructuración se perdió el núcleo de asignaturas para todas las secciones y solo resultaron comunes los dos primeros cursos y algunas materias de tercero, salvo la sección de Ciencias Naturales, que tenía currículo específico desde primer curso. En relación con las asignaturas de contenido estrictamente matemático, en el período de licenciatura quedan Análisis Matemático (primer y segundo curso), Geometría Métrica, Geometría Analítica, Geometría de la Posición, Geometría Descriptiva y Elementos de Cálculo Infinitesimal.

¹⁰¹ No se trata realmente de un plan de estudios, sino de las condiciones que deben cumplirse para dar validez a los estudios cursados según las normativas del Sexenio Revolucionario, pero permite conocer la estructura *oficial* de los distintos niveles educativos, en particular la de la Facultad de Ciencias.

¹⁰² Las nuevas denominaciones son *Exactas*, *Físico-Químicas* y *Naturales*.

¹⁰³ Con el establecimiento de la sección de Físicas se daba fin a la vinculación de esta con la de Exactas y con la de Químicas.

Para el último cuarto del siglo XIX, sin libros de texto oficiales, podrían mencionarse¹⁰⁴ para Complemento de Álgebra, Geometría y Trigonometría, las reediciones de Cirodde, Cortázar y Sánchez Vidal o nuevas ediciones como las de Briot, García de Galdeano (1886), Marzal Bertomeu, Montero-Aleixandre (1890), Octavio de Toledo (1905), Rubini (1882) y Villafañe Viñals; para Geometría Analítica, las obras de Cortázar, Galán Ruiz, Mundí Giró (1893), Vegas Puebla-Collado (1894) y Villafañe Viñals; para Cálculo Diferencial e Integral, los textos de Archilla (1880 y 1888), Clariana Ricart (1903)¹⁰⁵, García de Galdeano (1904-1905), Irueste (1903) y Marzal Bertomeu (1899); y para Geometría Descriptiva, los libros de Elizalde (1873-1878) y Gil (1902).

IV.2. *La formación matemática de los ingenieros*

En el último cuarto del siglo XIX la preparación matemática previa a los estudios técnicos se realizó de dos formas: Escuela General Preparatoria (1886-1892) y examen de ingreso (1874-1886/1892-1900)¹⁰⁶.

Asignaturas	
Primer curso	Cálculo Infinitesimal, un curso (diaria) Geometría Descriptiva y sus aplicaciones, un curso (diaria) Elementos de Dibujo (cabezas y extremos) (4 lecciones semanales) Dibujo Lineal, primer grado (2 lecciones semanales)
Segundo curso	Mecánica Racional, un curso (diaria) Estereotomía Completa, un curso (alterna) Topografía y Elementos en Geodesia, un curso (alterna) Dibujo de Figura (torsos y figuras completas) (4 lecciones semanales) Delineación y Lavado (2 lecciones semanales)
Tercer curso	Física, un curso (alterna) Química, un curso (alterna) Hidrostática, Hidrodinámica e Hidráulica General, un curso (alterna) Economía Política y Elementos de Derecho Administrativo, un curso (alterna) Elementos de Dibujo Ornamental (4 lecciones semanales) Dibujo de Paisaje (2 lecciones semanales)

Cuadro 6.7. Estudios de la Escuela General Preparatoria (R. D. de 11 de septiembre de 1886).

¹⁰⁴ Se han incluido autores que ejercieron la docencia tanto en la Facultad de Ciencias como en institutos de segunda enseñanza, pero con obras de nivel universitario. Las de profesores de academias militares o de escuelas especiales se señalarán en su correspondiente apartado, salvo que se conozca explícitamente que fueron usadas en la Facultad de Ciencias.

¹⁰⁵ Sobre la figura de Lauro Clariana puede verse el trabajo de S. GARMA PONS y G. LUSA MONFORTE, 1995.

¹⁰⁶ Además, en el período 1892-1900 se produjeron numerosos cambios en los requisitos de acceso, en los que dominaba la idea de *examen de ingreso*, pero en los que también tuvieron presencia la formación en la Facultad de Ciencias y la idea del curso preparatorio, en ocasiones simultaneándose con el examen de acceso a la correspondiente escuela. Una situación diferenciada es la de

Más de treinta años después de la supresión de la Escuela Preparatoria de Ingenieros y Arquitectos¹⁰⁷ se produjo un segundo intento de homogeneizar la formación preparatoria de los profesionales técnicos españoles. Por R. D. de 29 de enero de 1886 se estableció en Madrid la Escuela General Preparatoria de Ingenieros y Arquitectos, que, con las modificaciones del R. D. de 11 de septiembre de 1886, regiría los estudios previos de las escuelas de Ingeniería en el período 1886-1892.

Para acceder a la Escuela General Preparatoria se exigía un certificado de haber aprobado determinadas asignaturas¹⁰⁸ en segunda enseñanza y se debía superar un examen de acceso sobre las materias de Aritmética, Álgebra Elemental y Superior, Geometría, Trigonometría, Geometría Analítica, Traducción del francés, del inglés o del alemán, Dibujo Lineal y de Figura. Como consecuencia de la implantación de la Escuela General Preparatoria, los planes de estudios de las Escuelas Especiales de Ingenieros se centaban en materias fundamentalmente técnicas, dejando la forma-

Asignaturas	Camino	Minas	Montes	Agrónomos	Industriales
Aritmética, Álgebra, Geom. y Trig. R. y E.	X	X	X	X (A., T. R. y E.)	X (FC-ISE)
Geometría Analítica en dos y tres dimensiones	X	X	X	X (Cert. o Ex.)	X (FC-ISE)
Cálculos Dif., Int., de diferencias y var.	X	X	X	X (Cert. o Ex.)	X (FC-ISE)
Geometría Descriptiva	X	X	X	X (Cert. o Ex.)	X (FC-ISE)
Topografía (Geodesia)				X (Cert. o Ex.)	
Mecánica Racional	X	X	X	X (Cert. o Ex.)	X (FC-ISE)
Física	X	X	X	X	X (FC-ISE)
Química	X	X	X	X (Cert. o Ex.)	X (FC-ISE)
Historia Natural	X	X	X	X (Cert. o Ex.)	X (FC-ISE)
Dibujo Lineal, Top., de Pais., de Ador. o Fig.	X	X	X (figura)	X (Cert. o Ex.)	X (FC-ISE)
Traducción de la Lengua Francesa	X	X	X	X (Cert. o Ex.)	X (FC-ISE)
Traducción de la Lengua Inglesa	X	X (o Alemana)	X (Alemana)		

Cuadro 6.8. Materias del examen de ingreso (R. D. de 25 de mayo de 1877, junto a otras disposiciones legales del período 1875-1880).

la Escuela Industrial de Barcelona, a la que estuvo muy vinculada la Facultad de Ciencias, única referencia de los estudios industriales desde 1867, en que se cerró el madrileño Real Instituto Industrial, hasta 1899 en que abrió sus puertas la Escuela de Bilbao.

¹⁰⁷ Una exposición histórica del tema está desarrollada en M. SILVA SUÁREZ, 2007b.

¹⁰⁸ Gramática Castellana, Geografía, Historia General, Historia de España, Física y Elementos de Química.

ción científico-matemática para los estudios previos. A pesar de la existencia de otros planteamientos de estudios previos, tanto en la Facultad de Ciencias como en la Escuela Preparatoria, la cuestión sustancial para el acceso a las escuelas de Ingeniería era, sin lugar a dudas, el examen de ingreso, en el que se verificaban no solo los conocimientos de los alumnos aspirantes, sino también su capacidad.

Se mantienen las diferencias entre, por un lado, Caminos, Montes y Minas, que exigen los contenidos matemáticos de Geometría Analítica, Cálculo Diferencial e Integral, de diferencias y de variaciones, y Geometría Descriptiva¹⁰⁹; y, por otro, Agrónomos e Industriales, que siguen admitiendo¹¹⁰ o exigiendo¹¹¹ que las asignaturas se cursen en los institutos de segunda enseñanza o en la Facultad de Ciencias. En este período (1875-1886), a partir del curso 1879-1880, de forma voluntaria y a modo de ensayo, se introdujo la posibilidad de realizar un curso preparatorio en las escuelas de los cuerpos de Caminos, Minas, Montes y Agrónomos, idea que se retomaría en el año 1894, al comienzo de un nuevo período en que la forma de acceso a las Escuelas Especiales era el examen de ingreso.

Asignaturas	Caminos	Minas	Montes	Agrónomos
Cálculo Infinitesimal		X	X	X
Geometría Descriptiva		X	X	X
Mecánica Racional	X	X	X	X
Física	X	X		
Química General	X		X	X (ampliac.)
Dibujo Topográfico	X			
Lengua Alemana o Inglesa				X

Cuadro 6.9. Asignaturas del curso preparatorio para escuelas de Ingeniería civil (1879-1886)¹¹².

Ni siquiera en este planteamiento tienen cabida las matemáticas en la Escuela de Caminos, donde se exigen previamente, mientras que en las escuelas de Minas,

¹⁰⁹ Junto a otras de carácter más aplicado, como Topografía, Geodesia o Dibujo Lineal.

¹¹⁰ En Agrónomos se debe presentar un certificado o, en caso de no hacerlo, realizar un examen de las correspondientes materias.

¹¹¹ En la Escuela Industrial de Barcelona, según el nivel académico de las asignaturas, se señala que deben ser estudiadas y aprobadas en la Facultad de Ciencias (FC) o en un instituto de segunda enseñanza (ISE).

¹¹² Reales órdenes de 8 de agosto de 1879, 14 de mayo de 1880, 8 de abril de 1880 y 6 de septiembre de 1884.

Montes y Agrónomos se incluían los contenidos de Cálculo Infinitesimal y Geometría Descriptiva dentro del curso preparatorio.

Tras el nuevo intento de Escuela General Preparatoria (1886-1892) se retornó a la idea del examen de ingreso¹¹³, que acabó siendo la más empleada a lo largo del siglo XIX para acceder a las escuelas de Ingeniería.

Asignaturas	Camino (1895)	Minas (1878)	Montes (1894)	Agrónomos (1892)	Industriales (1902)
Aritmética, Álgebra, Geomet. y Trig. R. y E.	X	X	X	X	X
Geometría Analítica	X	X	X	X	(?)
Cálculo Infinitesimal	X	X	X	(Curso prepar.)	(1.º y 2.º)
Geometría Descriptiva y sus aplicaciones	X	X	X	(Curso prepar.)	(1.º)
Mecánica Racional	(P. estudios)	X	X		
Física	(P. estudios)	X	(Curso prepar.)	X	(1.º)
Química	(P. estudios)	X	(Curso prepar.)	X	(1.º)
Historia Natural	(P. estudios)	X	X	X (Min. Bot. y Zool.)	
Dibujo Lineal, de Figura, de Adorno y Lavado	X	X	X	X	X
Traducción del Francés	X	X	X	X	X
Traducción del Inglés	X	X (o Alemán)		X (o Alemán)	

Cuadro 6.10. Contenidos del examen de ingreso o del plan de estudios (1892-1900).

Rigiendo los estudios técnicos coexistieron planes de estudios y disposiciones legales distantes en el tiempo y diferentes en la conformación curricular. En todo caso, las escuelas de Agrónomos e Industriales siempre fueron menos exigentes a la hora de admitir alumnos. Respecto a la formación industrial, solo quedaba la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona como referente hasta la creación de la Escuela de Ingenieros Industriales de Bilbao en 1899¹¹⁴. Habría que esperar a 1901 para el restablecimiento en Madrid, por R. D. de 17 de agosto, de la Escuela Central de Ingenieros Industriales, en cierto modo heredera del Real Instituto Industrial.

A pesar del intento de liberalizar el uso de libros de texto, siguieron apareciendo obras recomendadas para el estudio de las materias del examen de ingreso, a las que

¹¹³ Para presentarse al examen de ingreso se exigía estar en posesión del título de bachiller en artes, que se obtenía en los institutos de segunda enseñanza.

¹¹⁴ Véase M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, pp. 94-282.

hay que recurrir para conocer las matemáticas exigidas para el acceso a las Escuelas Especiales. Así, en 1885, para el ingreso¹¹⁵ en la Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos se señalaban las obras¹¹⁶ de Bertrand, Serret¹¹⁷ y Sánchez Vidal¹¹⁸ para Aritmética; Bertrand¹¹⁹, Cirodde¹²⁰, Rubini y Sánchez Vidal¹²¹ para Álgebra; Rouché-Comberousse¹²² y Vincent para Geometría Elemental; Serret¹²³ y Cirodde¹²⁴ para Trigonometría; Briot-Bouquet, Sonnet-Frontera y Mundí para Geometría Analítica; Duhamel, Archilla y Balanzat para Cálculo Diferencial e Integral; y Leroy¹²⁵, Elizalde¹²⁶ y Adhémar¹²⁷ para Geometría Descriptiva.

Finalmente, se van a abordar con más detalle dos materias de matemáticas que se introdujeron en esta etapa de final de siglo: Cálculo de Probabilidades y Funciones Elípticas.

En cuanto a Cálculo de Probabilidades, la Escuela de Caminos fue la primera de las ingenierías civiles en seguir la senda que en la enseñanza militar ya se había tomado en 1878. En efecto, la primera referencia que se ha localizado se encuentra en los programas para el ingreso en la Escuela de Caminos de 1885¹²⁸, enmarcada en el apartado de Cálculos (segunda parte), junto a Ecuaciones Diferenciales, y en el subapartado de Teorías Diversas, con la misma consideración que Cálculo de Diferencias o Diferencias Finitas. El contenido que se establece para Cálculo de Probabilidades se divide en cuatro partes: «Preliminares» (cálculo de errores y principios del cálculo de

¹¹⁵ Los contenidos de las asignaturas de matemáticas están reproducidos en M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, pp. 477-537.

¹¹⁶ También se incluían libros de *Teoría de los determinantes* (Echegaray, Bacas) o de *Problemas de geometría* (Echegaray).

¹¹⁷ Traducida por Monterde. Igualmente se recomienda para el examen de ingreso en la Escuela de Montes (1883 y 1886) y en la de Minas (1894).

¹¹⁸ Se incluye entre los indicados para el examen de ingreso en la Escuela de Minas (1894).

¹¹⁹ Recomendado también para el examen de ingreso en la Escuela de Minas (1894).

¹²⁰ También usado en el examen de ingreso en la Escuela de Montes (1878 y 1881).

¹²¹ Se señala para el estudio del examen de ingreso en la Escuela de Minas (1894).

¹²² Traducido por Portuondo. Aparece asimismo entre los indicados para el examen de ingreso en la Escuela de Montes (1883 y 1886) y en la de Minas (1894).

¹²³ Traducido por Pignatelli. También se encuentra en la lista para el examen de ingreso en la Escuela de Montes (1881) y en la de Minas (1894).

¹²⁴ Se recomienda igualmente para el examen de ingreso en la Escuela de Montes (1878, 1883 y 1886).

¹²⁵ Sirve como referencia para el estudio del examen de ingreso en la Escuela de Montes (1878 y 1881) y en la de Minas (1894).

¹²⁶ Aparece como obra recomendada para el examen de ingreso en la Escuela de Montes (1881, 1883 y 1886) y en la de Minas (1894).

¹²⁷ Es obra de referencia para el examen de ingreso en la Escuela de Montes (1878, 1881, 1883 y 1886).

¹²⁸ El contenido pormenorizado puede verse en M.^a Á. MARTÍNEZ GARCÍA, 1999, pp. 477-537.

probabilidades en que se basa), «Observaciones inmediatas» (error medio y error probable), «Observaciones mediatas» (método de los mínimos cuadrados y sus modificaciones no lineales) y «Observaciones condicionales» (ecuaciones correlativas y normales). Como puede observarse, se trata de un programa enfocado al estudio de los errores de observación. La segunda referencia localizada está incluida en el reglamento de la Escuela de Caminos de 1895, pero en esta ocasión como asignatura del plan de estudios. Aparece citada en primer lugar del currículo con la denominación *Elementos de Cálculo de Probabilidades*, sin que se tenga constancia de los contenidos concretos que habían de impartirse. Una última referencia se encuentra en el reglamento de 1900, que presenta una modificación en el plan de estudios de la Escuela de Caminos y señala como materia que se podía estudiar en dicha escuela especial Elementos de Cálculo de Probabilidades y Teoría de la Compensación de Errores, aunque tampoco constan los contenidos específicos de la misma; sin embargo, por la ampliación del título respecto a 1895, parecen dirigirse en la dirección planteada para el examen de ingreso de 1885.

En el caso de las funciones elípticas, según el trabajo de Hormigón y Martínez¹²⁹, en la Escuela de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos es donde por primera vez se menciona el tema en este centro, concretamente en el *Programa para el ingreso de este centro correspondiente al curso 1885-86*, dentro de la segunda parte de Cálculo y bajo el epígrafe «Teorías diversas». El programa de las funciones elípticas comprende los «Principios generales» y los «Teoremas fundamentales». Los textos recomendados eran la segunda edición de los *Éléments de calcul* de Duhamel (de los años 1860 y 1861), el suplemento dedicado a funciones elípticas del tratado de Bertrand, de finales de la misma década, y una memoria del ingeniero de caminos Manuel Pardo. Pero la alusión a este tema en el ingreso no parece que se mantuviese durante mucho tiempo, ya que en el siguiente programa para el acceso a la Escuela, publicado en la *Gaceta de Madrid* el 24 de abril de 1896, la exigencia de las funciones elípticas ya no se indicaba.

IV.3. *Las matemáticas en las academias militares*

Siguiendo con la introducción del cálculo de probabilidades en la enseñanza de las academias militares de los dos cuerpos facultativos del Ejército, el primer centro en que figura es la Academia de Artillería, en el plan de estudios de 1878. Ingeniería y Estado Mayor, que también habían establecido nuevos planes en 1875, derogando así los correspondientes al Sexenio Revolucionario, no incorporaron, al menos de un modo independiente, esta asignatura. En 1879 un profesor de Artillería, Diego Ollero, publicó el primer manual español sobre esta disciplina. La novedad de un texto de *Cálculo de probabilidades* escrito por un español bien merece que nos detengamos

¹²⁹ M. HORMIGÓN y A. MARTÍNEZ, 2001, p. 324.

en su contenido¹³⁰. El autor comienza dedicando el capítulo 1.º, una cuarta parte del libro, al estudio de algunas integrales vinculadas a las distribuciones de probabilidad. En el 2.º desarrolla los conceptos fundamentales, para en el 3.º detenerse en la obtención del teorema de Bernoulli sobre la relación entre la probabilidad y la repetición de sucesos. En el capítulo 4.º presenta un estudio de la teoría de errores tomando la distribución normal como herramienta matemática. Concluye la obra de Ollero con el desarrollo del método de los mínimos cuadrados en el capítulo 5.º

Respecto a las funciones elípticas, igualmente es en la Academia de Artillería donde estas aparecen incorporadas en un capítulo del *Curso de cálculo infinitesimal* escrito por Diego Ollero, esta vez en colaboración con Tomás Pérez Griñón, en 1889. Como ellos mismos afirman, las fuentes que habían consultado eran las obras de Höüel, Bertrand, Serret, Rubini, Sturm y Duhamel; es decir, de nuevo la influencia de la Escuela Politécnica de París está presente en la elaboración del manual.

Como se puede observar, a medida que fue avanzando el siglo XIX la enseñanza de los artilleros fue adquiriendo mayor ímpetu. El plan de 1878 constituye un buen modelo del nivel alcanzado en su formación.

Matemáticas	Ingenieros militares (cuatro años académicos y uno preparatorio) (1875)	Artilleros (cuatro años académicos y uno preparatorio) (1878)
Examen de ingreso	Matemáticas	Aritmética, Álgebra Elemental y Geometría Plana
Plan de estudios	Álgebra Superior, Geometría del Espacio, Trigonometría Rectilínea y Esférica, Geometría Analítica, Cálculo Diferencial e Integral y sus Aplicaciones, Geometría Descriptiva con sus Aplicaciones a Sombras y Perspectiva, Planos Acotados	Álgebra Superior, Geometría del Espacio, Trigonometría Rectilínea y Esférica, Geometría Analítica, Cálculo Diferencial e Integral y sus Aplicaciones a los de Variaciones y Probabilidades, Geometría Descriptiva, Sistemas de Acotaciones

Cuadro 6.11. Las matemáticas en los planes de estudios de las academias militares, 1875-1878.

Al mismo tiempo que la enseñanza civil creaba la Escuela General Preparatoria (1886-1892), en la enseñanza militar ya hacía unos años que por el R. D. de 20 de febrero de 1882 se había constituido la Academia General Militar (AGM), que era un centro único de formación, de paso obligado para todas las armas y cuerpos del Ejér-

¹³⁰ Un análisis de su contenido y una comparación con la obra de Manuel de Velasco puede verse en V. ARENZANA HERNÁNDEZ. Entre las conclusiones del trabajo cabe señalar que ambos siguen el modelo de Laplace, pero, mientras que Ollero se ocupa del problema filosófico de la probabilidad como medida del verdadero conocimiento —teoría de errores—, Velasco estudia la probabilidad como método para conocer la naturaleza de algunos procesos físicos.

cito. De este modo, Ingeniería, Artillería y Estado Mayor realizaban primero tres años de enseñanza común en la AGM, donde cursaban una matemática más elemental (Aritmética, Álgebra, Geometría Analítica, Geometría Descriptiva y Trigonometría Rectilínea), y después continuaban en sus centros respectivos ampliando sus conocimientos y recibiendo una matemática de más nivel (Trigonometría Esférica, Cálculo Diferencial e Integral, Aplicaciones de la Geometría Descriptiva a Sombras y Perspectiva). La Academia de Artillería era la única en la que se impartía como asignatura independiente el Cálculo de Probabilidades. Esta situación no duró mucho tiempo, ya que el 8 de febrero de 1893 se decretó el cierre de la AGM, por lo que a partir del 1 de julio de 1893 las academias volvieron a su funcionamiento independiente.

Estado Mayor, en vez de su Academia, abrió la Escuela Superior de Guerra, donde para ser admitido como alumno era indispensable ser ya oficial del Ejército, y estableció su ciclo formativo en tres años. En ellos, con carácter facultativo, también estuvieron presentes las matemáticas. Ingeniería y Artillería fijaron en 1893 un plan de estudios de cinco años de duración, y, esta vez, en matemáticas eran completamente iguales. En el examen de ingreso se exigía en ambos casos Aritmética, Álgebra Elemental, Trigonometría Rectilínea y Geometría Plana y del Espacio. Respecto al plan de estudios, las matemáticas se estudiaban en el primer curso (Álgebra Superior, Trigonometría Esférica, Geometría Analítica, Geometría Descriptiva, Planos Acotados, Sombras y Perspectiva) y en el segundo (Cálculo Diferencial e Integral y de Probabilidades). Fue en este plan donde la Academia de Ingeniería introdujo la asignatura de Cálculo de Probabilidades de un modo explícito. Finalmente, poseer los conocimientos de segunda enseñanza se consideró condición necesaria para poder efectuar este examen, con la salvedad de los individuos de tropa, a los que desde hacía algunos años el Ejército venía favoreciendo, cuidando más su formación.

En este último cuarto de siglo, un hecho llamativo es la abundante producción de textos matemáticos escritos por autores militares españoles, que irán desplazando la sempiterna referencia de los manuales franceses¹³¹. Tal vez porque la R. O. de 30 de septiembre de 1878 había establecido unas nada despreciables recompensas por la redacción de obras, o porque la creación de la AGM propició de buen grado este hecho, la cuestión es que, aproximadamente, el sexenio comprendido entre 1879 y 1885 fue el más prolífico en producción matemática realizada por autores militares de todo el XIX, por lo que no resulta muy extraña la R. O. de 13 de abril de 1883, en la que se pide que únicamente se remitan al Ministerio de la Guerra aquellos trabajos que sean de clara utilidad y aplicación para el Ejército. A partir de 1888 se observa una disminución de textos sobre matemática elemental y geometría descriptiva, y aparecen ya obras sobre geometría proyectiva.

¹³¹ Paul-Louis Cirodde (1749-1849), Joseph A. Serret (1819-1885), Eugène Rouché (1832-1910), Charles de Comberousse (1826-1897) y Charles Briot (1817-1882).

Aritmética	Luis Felipe Alix (1874), Juan Montemayor y Juan Renté (1880), Ignacio Salinas y Manuel Benítez (1884), Antonio Quesada (1885)
Álgebra	Manuel Benítez e Ignacio Salinas (1888), Cándido Pardo González (1889), Juan Montero Gabutti (1890), Juan Jacobo Durán Loriga (1899)
Trigonometría	Lope M. ^a Blanco de Cela (1876), José Gómez Pallete (1877), Miguel Ortega Sala (1881), Morales Prieto (1883), Ildefonso Gómez de Santiago (1898), Ignacio Mazeris Alted (1899), Román Ayza Maquén (1900)
Geometría	Miguel Ortega Sala (1885)
Geometría Descriptiva	Urbano Mas Abad (1879), Pedro Pedraza y Miguel Ortega (1879), Joaquín Cabanyes (1879), Aparici (1881), Vicente Correa Palavicino (1881), José López Torrens (1881), Enrique Orozco de la Puente (1881), Lorenzo Gallego Carranza (1886)
Geometría Analítica	Antonio Valcarce Quiñones (1892) y Berenguer (1895)
Geometría Proyectiva	Juan Montero Gabutti (1887), Juan Jacobo Durán Loriga (1891)
Cálculo Diferencial e Integral y sus aplicaciones	Dámaso Bueno (1876), Alejandro Belón Torres (1876), Antonio Torner Carbó (1879), Antonio Vidal Rúa (1880 y 1882), Diego Ollero y Tomás Pérez Griñón (1889), José de Toro Sánchez (1894), Celestino García Antúnez (1898)
Cálculo de Probabilidades	Diego Ollero (1879)

Cuadro 6.12. Producción matemática debida a autores militares en el último cuarto del siglo XIX.

V

A MODO DE CONCLUSIÓN

El siglo XIX supuso una auténtica revolución en la historia de la educación en España. Junto a otras ciencias, pero también al lado de disciplinas como la geografía o la historia, el estudio de las asignaturas de matemáticas fue uno de los referentes de la modernización. Los contenidos matemáticos que se exigían en la formación de la ingeniería civil española se centraban fundamentalmente en los exámenes de ingreso —cuyo nivel dependía de la Escuela Especial a la que se intentase acceder— o en los cursos preparatorios, y de forma menos habitual en los primeros cursos de la especialidad correspondiente.

En realidad, salvo en algunas breves etapas¹³² en que estuvo vigente el curso preparatorio y la inclusión en la Escuela de Caminos del Cálculo de Probabilidades en los

¹³² En el período 1859-1868, tanto el Cálculo Infinitesimal como la Geometría Descriptiva formaron parte de los planes de estudios de Caminos, Minas (que también incluyó la Geometría Analítica de

cinco años finales del siglo XIX, las matemáticas no estaban presentes como asignaturas en las Escuelas de Ingenieros; más bien eran un obstáculo que había que salvar para acceder a ellas, aunque posteriormente pudieran ser utilizadas como herramienta en las asignaturas específicas del correspondiente plan de estudios de Ingeniería. En este sentido, hay una diferencia entre la actitud de las escuelas de Caminos, Minas y Montes, que tuvieron muy presente el examen de ingreso a lo largo del siglo XIX, y las de Agrónomos e Industriales, si bien ambas se sumaron a la idea del examen de ingreso a finales del siglo XIX y en los primeros años del XX, respectivamente. ¿Pudo tener que ver con esta actitud hacia el sistema educativo liberal el formar parte o no de los cuerpos de ingenieros en la estructura funcional del Estado?

Por otro lado, los centros de formación de los dos cuerpos facultativos del Ejército de Tierra, Artillería e Ingenieros, muestran diferencias respecto a lo señalado para la ingeniería civil. Desde comienzos del XIX, los ingenieros militares tenían un examen de ingreso sobre contenidos matemáticos, y continuaban en los primeros cursos de su formación con matemáticas de mayor nivel. Es decir, durante todo el siglo —exceptuando el Sexenio Revolucionario— las matemáticas estuvieron presentes en sus planes de estudios. En cuanto a los artilleros, no tuvieron un examen de ingreso con unos mínimos contenidos matemáticos hasta casi la mitad de la centuria. Por ello, y de una manera escalonada, la formación matemática se realizaba dentro del centro. Posteriormente, sus planteamientos en la enseñanza de las matemáticas se acercaron mucho más a la situación de la ingeniería militar y, con sus diferencias, también a la de la civil.

En general, refiriéndonos tanto a los centros de Ingeniería civil y militar como a los de Artillería, se puede afirmar que recelaban de la formación matemática impartida en los institutos de segunda enseñanza y en la Facultad de Ciencias, ya que en los exámenes de ingreso se volvían a exigir los conocimientos ya acreditados en dichos establecimientos educativos oficiales. ¿Podría hablarse de una desconfianza de las escuelas especiales y de las academias militares hacia el nuevo sistema educativo impulsado por los liberales a partir de 1833?

Centrándonos más detalladamente en las aportaciones a las matemáticas de la Ingeniería, tanto civil como militar, y de la Artillería, sin pretender dejar cerrado un tema que todavía requiere estudios más minuciosos, parece bastante claro que su proceso de introducción en la educación española corrió bastante paralelo al desarrollo institucional de los centros docentes. Así, las estructuras más consolidadas, como las academias militares, y los centros profesionales establecidos desde comienzos del XIX, las escuelas de Ingeniería, junto con algunos profesionales de instituciones civiles —Vallejo y Cortázar, entre otros—, fueron conformando en los dos primeros tercios del siglo una situación donde se pueden encontrar personas que trabajan

tres dimensiones) y Montes, mientras que Agrónomos e Industriales permitían cursar estas asignaturas en la Facultad de Ciencias.

y estudian por la introducción en la educación española de determinadas disciplinas matemáticas, actuación a la que en el último tercio de la centuria se uniría también la Facultad de Ciencias. En este sentido, merecen ser relacionados en una breve síntesis los nombres de los ingenieros civiles, militares y artilleros que, sin ser desde luego los únicos, mejor representan estos avances en la matemática española del XIX, bien como investigadores o como introductores en España de determinadas teorías matemáticas, y que se han ido considerando en el presente trabajo en tanto que modernizadores de la matemática española de dicho siglo.

1801 *Instituciones de cálculo diferencial e integral, con sus aplicaciones principales a las matemáticas puras y mixtas*, de José Chaix (ingeniero cosmógrafo, después profesor de la Escuela de Caminos en su primera etapa). Primer texto de cálculo del XIX que aporta cambios significativos respecto a las obras del siglo anterior.

1803 Traducción de la *Geometría descriptiva* de Gaspar Monge para el uso de los estudios de la Inspección General de Caminos, encargada por Agustín de Betancourt (ingeniero de caminos).

1819 *Geometría analítico-descriptiva*, de Mariano Zorraquín (ingeniero militar). Originalidad: unión de ambas disciplinas.

1828 *Cálculo diferencial e integral*, de Fernando García San Pedro (ingeniero militar). Originalidad: contribución a la investigación de la fundamentación del cálculo.

1851 *Cálculo diferencial*, de Francisco Sanchiz y Castillo (artillero). Constituye el primer libro escrito por un militar sobre esta disciplina en el que se acepta a Cauchy en la fundamentación del cálculo.

1866 «Perspectiva axonométrica», de Luis Felipe Alix (artillero). Aparece en un capítulo de su obra titulada *Tratado elemental de geometría descriptiva seguido de unas ligeras nociones sobre perspectiva y sombras*.

1867 *Introducción a la geometría superior*, de José Echegaray (ingeniero de caminos). Con esta obra se introdujo la geometría de Chasles en España.

1868 *Memoria sobre la teoría de los determinantes* (1868), de José Echegaray. De nuevo supuso la incorporación de teorías matemáticas a España.

1879 *Cálculo de probabilidades*, de Diego Ollero (artillero). Primer texto español que trata este tema.

1897 *Teoría de Galois*, de José Echegaray. Introducción de estas teorías en España.

Cuadro 6.13. Ingenieros civiles, militares y artilleros en la modernización de la matemática española del siglo XIX: algunas obras de relevancia.

En cuanto a la utilización de textos comunes en la enseñanza de las escuelas de Ingeniería y las academias militares, se puede señalar que hubo muy poca relación. En general, los militares se autoabastecieron durante todo el siglo con su propia producción matemática —distinta incluso para los ingenieros militares y los artilleros—, y pocas son las referencias al empleo de manuales matemáticos de autores civiles

españoles. Por su parte, aunque también de un modo mínimo, a lo largo del siglo XIX sí que se pueden encontrar algunos casos de recomendación de textos de militares para el estudio de la ingeniería civil. Así, hasta la mitad del siglo, la *Geometría analítica-descriptiva* de Zorraquín y el *Cálculo diferencial e integral* de García San Pedro fueron textos recomendados en la enseñanza civil, al igual que los textos de Vallejo y Cortázar se indicaron para el estudio de las matemáticas elementales en los centros militares. En el último tercio del XIX, se pueden indicar las siguientes recomendaciones de autores militares para la ingeniería civil: la *Trigonometría* de José Gómez Pallete (1884) o de Miguel Ortega Sala (1881), la *Aritmética* de Ignacio Salinas y Manuel Benítez (1884), el *Álgebra* de Juan Montero Gabutti y las *Teorías de la homografía e involución seguida de otros varios apuntes de geometría* de Montero Gabutti (1887).

Finalmente, como hecho común a toda la ingeniería y a la artillería, cabe señalar la omnipresencia de las obras del profesorado de la Escuela Politécnica francesa en la formación y la elaboración de la producción matemática española.

BIBLIOGRAFÍA

- ARENZANA HERNÁNDEZ, V.: *La enseñanza de las matemáticas en España en el siglo XVIII: la Escuela de Matemáticas de la Real Sociedad Económica Aragonesa de Amigos del País*, tesis doctoral inédita, Zaragoza, 1987.
- «L'implantation du Calcul des Probabilités et ses applications dans l'enseignement pendant les XIX^e et XX^e siècles. Le cas espagnol des œuvres de Diego Ollero et Manuel de Velasco», en E. Ausejo y M. Hormigón (eds.): *Paradigms and mathematics*, Madrid, Siglo XXI de España, 1996, pp. 407-425.
- CUESTA DUTARI, N.: *Historia de la invención del análisis infinitesimal y de su introducción en España*, Salamanca, Universidad (Acta Salmanticensia. Ciencias, 48), 1985.
- ECHEGARAY, J.: «La Escuela Especial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y las ciencias matemáticas», *Revista de Obras Públicas*, XLIV, I (2), 1897, p. 2.
- EHCIE: Estudio histórico del cuerpo de ingenieros del Ejército*, Madrid, Establ. Tipogr. Sucesores de Rivadeneyra, 1911, t. II.
- GARMA PONS, S.: *Josep Chaix i el progrés matemàtic del segle XIX*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1994.
- y G. LUSA MONFORTE: «Laur Clariana i Ricart (1846-1916). L'assimilació de la matemàtica del segle XIX», en J. M. Camarasa y A. Roca (dirs.): *Ciència i tècnica als Països Catalans: una aproximació biogràfica*, Barcelona, Fundació Catalana per a la Recerca, 1995, pp. 523-564.
- GONZÁLEZ GONZÁLEZ, F. J.: *Ciencia y Marina en la España del siglo XIX: el Observatorio de San Fernando (1831-1924)*, tesis doctoral, Cádiz, Real Instituto y Observatorio de la Armada / Universidad de Cádiz, 1990.
- HORMIGÓN, M., y A. MARTÍNEZ: «Echegaray y la modernización de las matemáticas en España. Las lecciones del Ateneo», en L. Español y J. L. Varona (eds.): *Margarita*

- mathematica en memoria de José Javier (Chicho) Guadalupe Hernández*, Logroño, Universidad de La Rioja, 2001, pp. 307-331.
- LUSA MONFORTE, G.: *Las matemáticas y la ingeniería industrial, 1850-1975: elementos metodológicos para la formulación del contenido y alcance de la matemática en la ingeniería industrial*, tesis doctoral, Barcelona, Universidad Politécnica de Barcelona, 1975.
- «Matemáticas en la ingeniería: el cálculo infinitesimal durante la segunda mitad del siglo XIX», en H. Mielgo Álvarez y J. M. Camarasa (coords.): *Actes de les I Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica: Trobades Científiques de la Mediterrània (Maó, 11-13 setembre 1991)*, Barcelona / Mahón, Societat Catalana d'Història de la Ciència y de la Tècnica / Societat Catalana de Física / Institut Menorquí d'Estudis, 1994, pp. 263-282.
- MANSILLA, L., y R. SUMOZAS: *La ingeniería de minas: de Almadén a Madrid*, en M. Silva Suárez (2007a), 2007, pp. 81-124.
- MARTÍN-PLIEGO LÓPEZ, F. J.: «José María Ibáñez Ramos: primer catedrático de estadística», en J. Basulto Santos y J. J. García del Hoyo (eds.): *Historia de la probabilidad y la estadística (IV)*, Huelva, Universidad, 2008, pp. 37-46.
- MARTÍNEZ GARCÍA, M.^a Á.: *Las matemáticas en los planes de estudios de los ingenieros civiles en España en el siglo XIX*, tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 1999.
- MEDRANO, F. J.: *El cálculo infinitesimal en España (1750-1830): fundamentos y enseñanza*, tesis doctoral, Universidad de Zaragoza, 2005.
- NAVARRO, J., y M.^a Á. VELAMAZÁN: «El militar José de Odrizola y su contribución a la ciencia en España en el siglo XIX», en J. A. Pérez-Bustamante *et al.* (coords.): *Actas del IX Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, Cádiz, SEHCYT, vol. II, 2006, pp. 925-937.
- PUELLES BENÍTEZ, M. de (recop.): *Historia de la educación en España*, vol. II: *De las Cortes de Cádiz a la Revolución de 1868*, Madrid, Ministerio de Educación y Ciencia (Breviarios de Educación, 13), 2.^a ed., 1985.
- RAMÓN TEJELLO, P. J., y M. SILVA SUÁREZ: *El Real Conservatorio de Artes (1824-1887), cuerpo facultativo y consultivo auxiliar en el ramo de la industria*, en M. Silva Suárez (2007a), 2007, pp. 235-292.
- REY PASTOR, J.: *Los progresos de la matemática en España y los progresos de España en la matemática*, Madrid, AEPPC, 1915.
- SÁENZ RIDRUEJO, F.: *Los ingenieros de caminos*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería, 47), 1993.
- SÁNCHEZ RON, J. M.: «José Echegaray: entre la ciencia, el teatro y la política», *Arbor*, CLXXIX, 707-708, 2004, pp. 601-688.
- SILVA SUÁREZ, M.: «Institucionalización de la ingeniería y profesiones técnicas conexas: misión y formación corporativa», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. II: *El Siglo de las Luces. De la ingeniería a la nueva navegación*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Pressas Universitarias de Zaragoza, 2005, pp. 165-262.

- M. SILVA SUÁREZ (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. v: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007a.
- «Sobre la institucionalización profesional y académica de las carreras técnicas civiles», en M. Silva Suárez (2007a), 2007b, pp. 7-79.
- VEA MUNIESA, F.: «Lacroix y la enseñanza de las matemáticas: su influencia en España», en M. Valera y C. López Fernández (eds.): *Actas del V Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 3 vols., Murcia, DM / PPU, vol. 3, 1991, pp. 1547-1561.
- *Las matemáticas en la enseñanza secundaria en España en el siglo XIX*, 2 vols., Zaragoza, Seminario de Historia de la Ciencia y de la Técnica de Aragón / Universidad de Zaragoza (Cuadernos de Historia de la Ciencia, 9, I y II), 1995.
- «The influence of French Mathematics textbooks on the establishment of the liberal education system in Spain (1845-1868)», en E. Ausejo y M. Hormigón (eds.): *Paradigms and mathematics*, Madrid, Siglo XXI de España, 1996, pp. 365-390.
- «La Facultad de Ciencias (1857-1868)», en J. L. García Hourcade *et al.* (coords.): *Estudios de Historia de las Técnicas, la Arqueología Industrial y las Ciencias. VI Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, Salamanca, Junta de Castilla y León, 1998, pp. 541-551.
- y R. ROYO: «Estudio comparativo de conceptos matemáticos en los libros de texto de segunda enseñanza en el segundo tercio del siglo XIX», en R. Codina y R. Llobera (eds.): *Història, ciència i ensenyament*, Barcelona, Escola Universitària del Professorat d'EGB / SEHCYT, 1990, pp. 421-438.
- VELAMAZÁN, M.^a Á.: *La enseñanza de las matemáticas en las academias militares en España en el siglo XIX*, Zaragoza, Seminario de Historia de la Ciencia y de la Técnica de Aragón / Universidad de Zaragoza (Cuadernos de Historia de la Ciencia, 7), 1994.
- «Le sillage de Lagrange: García San Pedro et la méthode des accroissements idéaux (1828)», *Sciences et Techniques en Perspective*, 2.^a serie, 4 (2), 2000, pp. 235-243.
- y E. AUSEJO: «La enseñanza de las matemáticas en la Academia de Ingenieros del Ejército en España en el siglo XIX», en M. Valera y C. López Fernández (eds.): *Ciencia y técnica en la España contemporánea*, Murcia, DM / PPU, vol. II, 1991, pp. 1307-1318.
- y E. AUSEJO: «De Lagrange a Cauchy: el cálculo diferencial en las academias militares en España en el siglo XIX», *Lhull*, 16 (30), 1993, pp. 327-370.
- y F. VEA: «La enseñanza de las matemáticas en el siglo XIX: un estudio comparado de textos», en M. Esteban Piñeiro *et al.* (coords.): *Estudios sobre Historia de la Ciencia y de la Técnica. IV Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, 2 vols., Valladolid, Junta de Castilla y León, vol. 2, 1998, pp. 979-987.

La unificación de los pesos y medidas. El sistema métrico decimal

José Vicente Aznar García
IES Rei en Jaume, Alzira, Valencia

I

UNA NUEVA MEDIDA UNIVERSAL

El 27 de marzo de 1790, Talleyrand, obispo de Autún y delegado en los Estados Generales, elevaba ante la Asamblea Nacional de Francia una propuesta para establecer un sistema de pesos y medidas tomando como raíz la longitud del péndulo que bate segundos a la latitud de 45° . Una propuesta científica, y ciertamente aconsejada por personalidades como Lagrange, Laplace, Monge, Condorcet, Vicq d'Azir y La Harpe, que en realidad no era tan nueva. La fundamentación de los sistemas de pesos y medidas a partir de la naturaleza misma, la posibilidad de establecer un verdadero sistema metrológico inmutable y universal, y en concreto la de tomar la longitud invariable del péndulo a cierta latitud como raíz de todas las medidas, había sido ya aceptada y seriamente propuesta por los científicos desde el siglo XVII, desde los tiempos de Picard; incluso la división decimal de las escalas era igualmente aceptada por los científicos como la más cómoda para los cálculos.

Sin embargo, resultaba radicalmente nuevo el contexto histórico en que fue formulada la no tan original propuesta de Talleyrand: solo desde la ruptura ideológica abierta con la Revolución francesa, concebida la nueva medida como un ataque más al Antiguo Régimen y a la vieja sociedad feudal, era posible llevar adelante el proyecto de una verdadera medida universal¹.

La intervención de la Academia de Ciencias reclamada por Bureaux de Pussay, el legislador proponente de la escala decimal, fue decisiva para el futuro de la nueva medida. Una comisión nombrada en su seno, con los mismos que asesoraron la proposición de Talleyrand, propuso que tal unidad de medida habría de tomarse no del péndulo, sino de la diezmillonésima parte del cuadrante de meridiano que pasa por París y a partir de la medida directa de la longitud de un arco simétrico respecto del

¹ Sobre los orígenes del sistema métrico decimal, S. DEBARBAT y A. E. TEN, 1993, y A. E. TEN, 1996.

paralelo 45, para evitar así los efectos del achatamiento polar. Leída la nueva propuesta por Talleyrand en la Asamblea Nacional, la Ley de 26 de marzo de 1791 consagra ya para la historia del sistema métrico la parte alícuota del meridiano como raíz fundamental de todos los pesos y medidas y ordena, igualmente, la medición del arco entre Dunkerque y Barcelona para determinarla.

El valor del metro, una vez obtenida la distancia Dunkerque-Barcelona, fue presentado ante la comunidad científica internacional en 1799, en una convocatoria internacional de países neutrales o aliados de Francia. Sancionados los resultados geodésicos, construidos los prototipos primarios del sistema y realizados los cálculos de comparación entre las nuevas medidas y las tradicionales de los países participantes, el *Rapport sur la mesure de la méridienne de France et les résultats qui ont été déduits pour déterminer la base du nouveau système métrique*, leído por Van Swinden ante el pleno del Congreso, determina el metro como las 443,296 líneas de la toesa de la Academia a la temperatura de 16,25 °C y supuesta una excentricidad polar de 1/334.

Definida la nueva unidad para todas las medidas, y establecido ya el sistema de múltiplos y divisores tal y como se conoce hoy, el sistema métrico decimal comenzaba el difícil camino de su difusión. Aceptado por los científicos, no sin importantes controversias, tenía ante sí el difícil obstáculo de su aprobación legal y, más aún, el casi insoluble problema de su aceptación social. Gabriel Ciscar, enviado de Carlos IV a la reunión internacional de París junto al matemático Agustín Pedrayes, lo propuso para España en 1800 en una *Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundados en la naturaleza*². Mas la unificación con la que España abría el siglo XIX, la que dictara Carlos IV en pragmática de 26 de enero de 1801, ordenaba las medidas del Reino tomando como base, no el metro, sino la vara de Burgos y el sistema tradicional de pesos y medidas de Castilla, con sus peculiares múltiplos y divisores. Durante medio siglo, una sucesión de propuestas debatieron sobre la conveniencia o no de adoptarlo. Aceptado en la literatura científica desde bien pronto³, el sistema métrico decimal sería declarado legal en España en tiempos de Isabel II. Una vez sancionado en la Ley de Pesos y Medidas de 19 de julio de 1849, España emprendía una reforma que, tras diversos problemas y aplazamientos, no pudo declarar obligatoria hasta el primero de julio de 1880 y cuyo asentamiento social no tuvo lugar hasta el mismo siglo XX.

² La correspondencia de Ciscar durante su estancia en París ha sido estudiada en J. F. LÓPEZ SÁNCHEZ y M. VALERA CANDEL, 1994.

³ J. V. AZNAR GARCÍA, 2005-2006.



7.1. Museo de Pesos y Medidas del Centro Español de Metrología (Tres Cantos, Madrid): 1) Vista general de la gran sala con patrones del siglo XIX anteriores al sistema métrico (pesas y medidas españolas antiguas); 2) Sala acorazada donde se conservan los patrones del sistema métrico decimal. (Fot.: MSS).

II

LA UNIFICACIÓN DE LOS PESOS Y MEDIDAS DE 1801

A pesar de la propuesta de Ciscar de 1800, la monarquía española unificaba sus medidas por pragmática de Carlos IV de 26 de enero de 1801 tomando como raíz la vara de Burgos y sus unidades tradicionales. Dicha ordenación —la última antes de

la adopción del sistema métrico en España— no era, como podría parecer, una simple contraposición a la implantación del sistema métrico decimal, sino más bien la consecuencia de un largo programa ilustrado que arrancaba en la instauración de la nueva monarquía borbónica a comienzos del siglo XVIII. La ordenación dictada en 1801 era, en efecto, el resultado de la reapertura del expediente de pesos y medidas del Consejo de Castilla, efectuada en 1757, en el que se renovaba una petición a las chancillerías, audiencias y universidades con el fin de informar sobre la diversidad metrológica y establecer los medios más adecuados para la unificación. Tras diversos informes, las unidades de medida dictadas en 1801 se sancionaban como las más generalmente usadas, como las que menos trastornos producirían a los pueblos y como las más acreditadas por las leyes de la nación. Se ordenaba así para todo el Reino la vara de Burgos para las medidas lineales, la media fanega de Ávila para las de capacidad, la cántara de Toledo para los líquidos y el marco de ocho onzas del Consejo de Castilla para los pesos, todos ellos con sus tradicionales sistemas de múltiplos y divisores binarios o duodecimales⁴. Se trataba, en efecto, de unidades de medida acreditadas por siglos y muchas de ellas ordenadas desde los tiempos de Alfonso X el Sabio. Juan López de Peñalver, verdadero inspirador del texto legal, fue el comisionado para la construcción de los prototipos y para su fijación con constantes inalterables, como, por ejemplo, la determinación de la longitud de la vara en función de la del péndulo que bate segundos en Madrid o la determinación rigurosa del peso de agua destilada contenida en las medidas de capacidad.

Con todo, no hay ningún indicio de que la pragmática de 1801 fuese desarrollada más allá de la guerra de la Independencia. La siempre difícil situación política que siguió a la contienda bélica e incluso la existencia de una diversidad metrológica aceptada y todavía no incompatible con la necesidad de regular un gran mercado económico nacional son las causas que hasta la fecha nos son conocidas para explicar que dicha pragmática solo fuese desarrollada en el plano normativo.

No obstante, nada fácil hubiese sido llevarla a cabo. Las unidades adoptadas en 1801, aunque se las llamó *españolas*, eran ciertamente las de Castilla. Los «celos históricos» de los que nos hablan los clásicos de la metrología —como el padre Andrés Marcos Burriel⁵— iban desde luego a oponer una gran resistencia con su simple presentación ante otros órdenes metrológicos que también tenían acreditadas sus medidas por la costumbre inmemorial. Hay datos incluso: como nos cuenta Basas Fernández —extraordinario conocedor de la metrología histórica⁶—, las Cortes de Navarra de 1817 declararon contrafuero las disposiciones sancionadas por Carlos IV.

La unificación de 1801, pues, solo fue una norma más, y durante medio siglo continuaron intactos los sistemas metrológicos de Cataluña, del Reino de Valencia, Nava-

⁴ A. GARCÍA BELMAR, 1992.

⁵ A. M. BURRIEL, 1758.

⁶ M. BASAS FERNÁNDEZ, 1980.

rra, Mallorca, Aragón..., que también disponían de medidas acreditadas por sus fueros y por sus costumbres de siglos.

Esta fue, en suma, la situación que encontró el sistema métrico decimal *francés* —porque así fue adjetivado durante medio siglo— en el momento de ser recibido en España e incorporarse a la literatura científica, donde siempre fue fácilmente aceptado.

III

LAS ETAPAS

Impulsado el sistema métrico en Francia y dictada la unificación española en 1801, ¿qué camino recorrió el metro en España? Antes que nada, digamos, por adelantarnos a los hechos, que desde su llegada a las obras científicas a principios del XIX hasta el comienzo de su uso en los medios sociales pasó un siglo. La labor de implantación del sistema métrico en España duró cien años y fue, como tantas otras reformas, entorpecida por el propio Estado, que no encontró su identidad política hasta bien entrada la Restauración monárquica.

La primera mitad del siglo XIX fue época de debates y de propuestas que se cerraron en 1849 con la sanción legal del sistema métrico decimal, que surge como consecuencia de las reformas que se emprendieron en la «década moderada» de Narváez para la modernización del aparato estatal⁷. Pero el desarrollo de la ley de 1849 se vio bien pronto frenado por la incapacidad de la industria española para construir los miles de colecciones de pesos, medidas y aparatos necesarios y por las crisis políticas del final de esa década, allá por 1854. No se reemprendió la reforma hasta el aperturismo político y económico de la década de los sesenta, cuando se consiguió declarar el sistema métrico obligatorio para el 1 de julio de 1868, aunque esta vez las crisis políticas del Sexenio Revolucionario dejaron la reforma paralizada de nuevo. A partir de la Restauración, a mediados de los años ochenta, con las fuerzas políticas ya girando alrededor de la Constitución de 1876 —la de mayor vigencia temporal de la historia de España— se consiguió, por fin, dejar la reforma metrológica en condiciones de hacerla obligatoria en todos los usos sociales. Fue, pues, todo un siglo: una primera mitad de debate teórico, hasta su sanción en 1849, y una segunda de desarrollo legal y trabajos facultativos.

A la ley de 1849 le siguió otra, sancionada en 1892, y un nuevo reglamento para el ramo, aprobado en 1895, cerrando así una época en la que, finalmente, quedaba organizado un servicio de verificación y marca de pesos y medidas y se establecían los mecanismos para controlar los usos metrológicos de la sociedad⁸.

⁷ Entre otras reformas, cabe destacar la unificación monetaria de 1848, también por el sistema decimal.

⁸ J. V. AZNAR GARCÍA, 1997.

IV

LAS PROPUESTAS PARA LA UNIFICACIÓN

¿En qué situaciones, bajo qué argumentos y quiénes fueron los protagonistas del debate que sobre el metro y su sistema de medidas comenzó en España en fecha tan temprana como 1800?

La organización administrativa del siglo XIX, sobre todo a partir de su segundo tercio, recogía el «arreglo de pesos y medidas» —con estas palabras— dentro de las competencias de las diversas secretarías del Despacho y de Estado. Un «arreglo» que siempre fue considerado por la burguesía liberal en ascenso como una cualidad necesaria para la correcta modernización del país e imprescindible en la medida en que comenzaba el desarrollo de un gran mercado nacional. En estas circunstancias, durante el Trienio Liberal, y sobre todo a partir de 1833, con el fin del absolutismo, se nombraron diversas comisiones de expertos para proponer al Gobierno de la nación el oportuno proyecto de ley sobre pesos y medidas. Se conocen hasta siete comisiones desde la primera legislatura liberal de 1820 hasta el ascenso de Narváez en 1846, y en ellas siempre figuraron científicos de primera fila (matemáticos, ingenieros, marinos, militares...) como Juan Justo García, Francisco Ciscar, José Vargas Ponce, Juan Subercase, Juan López de Peñalver, Vicente Vázquez Queipo, Alejandro Oliván y Joaquín Alfonso, entre otros.

Una vez designadas, todas estas comisiones eran destituidas en el siguiente cambio de Gobierno, y su labor quedaba muchas veces reducida a su simple constitución, o a lo sumo al inicio de algunos trabajos de recopilación de datos, pero poco más. No obstante, el hecho mismo de ser nombradas avivaba un debate gracias al cual varios autores escribieron memorias para que fueran puestas en manos de la comisión, de las Cortes o del ministro del ramo.

Así, Salvador Ros y Renart, profesor de Matemáticas de la Academia de Ciencias de Barcelona, elevó diversos escritos; Gabriel Ciscar, a la sazón teniente general de la Armada, otros dos textos, en 1807 y en 1821; Pedro Delgado, militar e ingeniero hidráulico, fue autor de una memoria en 1828; Vicente Vázquez Queipo, catedrático de Física de la Universidad de Valladolid y diputado a Cortes, realizó otros tres escritos, en 1833, 1840 y 1847; José Radón, profesor de Instrumentos del Observatorio Astronómico de Madrid, escribió el suyo en 1835; Carlos Martí de Resequín, también vinculado a la Academia de Ciencias de Barcelona, en 1837; Joaquín Ezquerro del Bayo, catedrático de Física del Conservatorio de Artes, firmaba un proyecto en 1845, cuando era director de minas; Jerónimo Ferrer y Valls, vinculado al comercio a gran escala, redactaba sendas memorias en 1833 y 1834; y hubo también autores anónimos que publicaron sus textos en la prensa científica de la época.

Entre los autores de todas estas memorias —que son en definitiva lo que aporta la ciencia española al debate sobre la reforma de las medidas durante la primera mitad del siglo XIX— tan solo Ros y Renart se atrevía a proponer abiertamente la implantación



7.2. *Textos (cuasi equiespaciados temporalmente) relativos al sistema decimal: 1) y 2) Antes de la Ley de Pesos y Medidas de 1849, Gabriel Ciscar y Ciscar en 1800 y Salvador Ros y Renart en 1821 propusieron la adopción del sistema métrico decimal en España utilizando una nomenclatura acorde con la lengua castellana; 3) Primer texto monográfico para la enseñanza del sistema métrico decimal en España (1840). Debido a la pluma de Mariano Vallejo, fue redactado para las clases de comercio de la Sociedad Económica Matritense y como complemento a las sucesivas ediciones de su Aritmética de niños; 4) Portada de la edición de 1862 de las Tablas de reducción de las pesas y medidas de Castilla a las métrico-decimales, que contribuyeron a impulsar el uso del sistema métrico en la Administración española.*

- 1800 CISCAR, Gabriel: *Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundados en la naturaleza*, Madrid, Imprenta Real, por Pedro Pereyra, 14 + 62 pp.
- 1803 CANELLAS, Agustín: *Proyecto sobre una medida universal sacada de la naturaleza y principalmente adecuada para España*, Barcelona, Suriá y Bugarda, 31 pp.
- 1807 CISCAR, Gabriel: «Ventajas de una nueva braza, comprendida seis millones de veces en el cuadrante de meridiano», *Almanaque Náutico para el Año de 1810*.
- 1821 CISCAR, Gabriel: *Apuntes sobre medidas, pesos y monedas que pueden considerarse una segunda parte de la Memoria elemental publicada en 1800*, Madrid, Imprenta Nacional, XXVIII + 131 pp. + 1 h.
- 1821 ROS Y RENART, Salvador: *Memoria sobre los más adecuados pesos y medidas y arreglo de monedas que pueden adoptar las Cortes para uniformar las monedas, pesas y medidas que se usan en España, por [...] profesor de Matemáticas y de Humanidades de S. M.*, Barcelona, José Torner, 40 pp.
- 1829 DELGADO, Pedro: *Memoria sobre el nuevo sistema decimal de pesos y medidas españolas*, Madrid, D. Manuel de Burgos, 70 pp.
- 1833 FERRER Y VALLS, Jerónimo: *Proyecto para regularizar los pesos, medidas y monedas*, Madrid, Imprenta que fue de Bueno, 16 pp.
- 1833 VÁZQUEZ QUEIPO, Vicente: *Ensayo sobre el nuevo sistema de pesos y medidas que convendría adoptar en España, presentado al Gobierno y redactado por [...], catedrático de Química de la Real Universidad de Valladolid*, París, Imprenta de Moquet y Compañía, 1 h. + 89 pp. + 1 tabla.
- 1834 FERRER Y VALLS, Jerónimo: *Proyecto para regularizar los pesos, medidas y monedas*, Madrid, Imprenta de González Cruz, 16 pp.
- 1835 RADÓN, José: *Apuntes para un proyecto de arreglo de monedas, pesos y medidas*, Madrid, Imprenta de los Hijos de D.^a Catalina Piñuela, 1 h. + 24 pp.
- 1840 MARTÍ DE RESEQUÍN, Carlos: «Memoria acerca de las bases que pudieran adoptarse para igualar los pesos y medidas de España según las leyes de la nación, leída por el socio [...] en la sesión del 19 de abril de 1837», *Boletín de la Academia de Ciencias Naturales y Artes de Barcelona*, 2, pp. 21-29, y 3, pp. 2-4.
- 1840-1841 VÁZQUEZ QUEIPO, Vicente: «Pesos, medidas y monedas», *El Correo Nacional*, 1 y 2 de diciembre de 1840, 3 y 4 de marzo y 8, 10 y 12 de abril de 1841.
- 1845 EZQUERRA DEL BAYO, Joaquín: *Exposición al Sr. ministro de la Gobernación sobre el arreglo definitivo de las medidas longitudinales y de peso en España, por el inspector general de minas [...]*, Madrid, Imprenta de José Rebollo y Compañía, 7 pp.
- 1847 VÁZQUEZ QUEIPO, Vicente: *Proyecto de ley sobre la uniformidad y reforma del sistema métrico y monetario de España*, Madrid, Imprenta de J. Martín Alegría, 95 pp.

Cuadro 7.1. Propuestas para la unificación de pesos y medidas (1800-1849).

del sistema métrico en España. Incluso Ciscar, tan pronto como en 1807, ya había declarado imposibles sus ideas de 1800. Ros y Renart, en solitario, en una memoria presentada ante las Cortes liberales de 1821 consideraba que el sistema métrico *francés* era el único compatible con la ley, que para él no era otra que la Constitución liberal de 1812; un nuevo sistema métrico para un nuevo orden político que «de esclavos nos pasó a hombres libres», como decía parafraseando el ideario revolucionario de Francia... Pero su propuesta se establecía a partir de una nomenclatura propia que recordase la tradicional —*vara, copa, libra* para las unidades fundamentales— y un sistema de prefijos latinos o castellanos que denotaran la progresión decimal, sin hacer uso de las voces griegas para los múltiplos por considerarlas inapropiadas para el pueblo llano... Los restantes autores reconocían sus ventajas aritméticas, pero lo veían inadecuado para una sociedad de arraigadas costumbres metrológicas, y, desde luego, no les faltaba razón.

La mayor parte, pues, de quienes pensaron en la unificación de las medidas proponían siempre la conservación de las más tradicionales, con ligeras correcciones para establecerlas sobre lo que llamaban *bases científicas*, pero conservando sus nombres y valores para concretar un sistema «nacional» y «sentido como propio», con estas mismas palabras. Tan solo se apartaban de esta idea en aquellas partes del sistema metrológico que iban a ser usadas únicamente en los medios técnicos (por ejemplo, en la división de la pulgada en décimas y no en doce partes como es tradicional, porque suponían que una unidad tan pequeña carecía de interés en los tratos ordinarios).

No tenía sentido proponer una medida convencional —como una unidad que sirve solo para entendernos, como hacemos hoy—, porque las medidas eran concebidas como un apéndice más de la identidad cultural de la nación, incluso por los propios científicos. Como ejemplo de esta manera de pensar nos valen las palabras de Miguel de Mayora, un autor de la época, quien en 1855 señalaba:

La independencia de una nación no está fundada solamente en los límites geográficos que la naturaleza ha determinado. Su apoyo más firme está en su religión, en su lengua, en la diferencia de sus monedas, y *en la diferencia de sus pesos y de sus medidas*⁹.

Por lo tanto, no resulta extraño que la mayor parte de las propuestas de los expertos del momento hablasen de conservar las medidas tradicionales con ligeras modificaciones para hacerlas acordes con el sistema decimal de numeración y con los usos técnicos.

¿Cómo elaboraban entonces sus proposiciones para compatibilizar la costumbre y la ley con esas bases científicas a las que se refieren? Merece la pena tomar como ejemplo la propuesta de unificación elevada por Vázquez Queipo a las Cortes en 1847. Se toma una vara cuya invariabilidad queda garantizada al definirla en función de la longitud del péndulo que bate segundos a la latitud de Madrid, y por cubicación

⁹ M. de MAYORA, 1855, p. 361. La cursiva es nuestra

de una de sus partes alícuotas se deduce la capacidad del cuartillo tradicional, la fanega para los áridos como un múltiplo del cuartillo así calculado y, por fin, la libra ponderal como el peso del agua destilada contenida en el cuartillo. Las restantes unidades se derivan de estas, tomando unas veces divisiones decimales —cuando es posible— o generalmente las tradicionales particiones duodecimales o binarias, de modo que se obtengan unidades con valores conocidos en el uso ordinario y a las que casi siempre se les dan los nombres conocidos. Cuando en alguna ocasión la progresión matemática de las unidades hace incluir una de uso no común, se intenta justificarla mediante el argumento de su existencia en otras épocas o bajo un fuero, una ley o un privilegio de otro siglo.

Medida	Unidad	Definición
Longitud	<i>Pie</i>	2/7 de la longitud del péndulo que bate segundos a la latitud de Madrid, a 0 °C, reducido al vacío y al nivel del mar
Capacidad de líquidos	<i>Cuartillo</i>	1/50 parte del pie cúbico
Capacidad de áridos	<i>Fanega</i>	2 pies cúbicos
Peso	<i>Libra</i>	Peso del cuartillo de agua destilada a la temperatura de su máxima condensación
Superficies agrarias	<i>Fanegada</i>	100.000 pies cuadrados
Potencia	<i>Dinamia</i>	Esfuerzo necesario para elevar un pie cúbico de agua a un pie de altura en un segundo
Hidráulica	<i>Pulgada hidráulica</i>	Gasto por minuto de un orificio circular de una pulgada de diámetro contada desde el borde superior del orificio practicado en una pared de una línea de espesor
Gaseosa	<i>Pulgada gasométrica</i>	Gasto por minuto de un orificio circular de una pulgada de diámetro bajo la presión de una pulgada de agua

Cuadro 7.2. Proyecto de unificación de pesos y medidas presentado a las Cortes por Vicente Vázquez Queipo en 1847.

Era, pues, la costumbre o la ley lo que estaba detrás de la reforma metrológica propuesta por unos científicos que reconocían la necesidad de la unificación, pero que veían imposible la implantación de unas medidas que, como las del sistema métrico decimal, eran extrañas a la cultura popular. Para justificar esta afirmación merece la pena recordar el título mismo de la propuesta de unificación de pesos y medidas del catalán Martí de Resequín ante la Academia de Ciencias de Barcelona de

1837: *Memoria sobre las bases que pudieran adoptarse para igualar los pesos y medidas de España, según las leyes de la nación*. Así es como se pensó durante el medio siglo que duró el debate sobre las medidas en España. Una costumbre y una ley que, sin duda, estaban en el polo opuesto de un sistema como el métrico decimal que había sido concebido por los sabios de la Revolución para ofrecerlo al mundo contra todas las costumbres y contra todas las leyes.

V

LA LEY DE PESOS Y MEDIDAS DE 19 DE JULIO DE 1849

Como ya hemos dicho, el sistema métrico decimal fue sancionado legalmente en España en la ley de 19 de julio de 1849, y con sus voces científicas, sin aquella terminología castellana que nos proponían quienes lo abrazaron desde un principio como la mejor propuesta para la unificación. ¿Por qué, entonces, el sistema métrico se aprobó contra todo lo que se dijo por parte de nuestras autoridades, sobre todo contra las ideas de Vázquez Queipo, nuestra mayor autoridad en metrología del siglo XIX?

La respuesta no es fácil, y para responderla tenemos que recurrir al diario de sesiones del Congreso de los Diputados. Así, el primer documento oficial sobre el sistema métrico en España nos aparece firmado el 26 de marzo de 1847, fecha en la que Roca de Togores, ministro de Comercio en el gabinete de Martínez de Irujo, exponía a las Cortes la decisión de adoptar el sistema métrico tras el dictamen de una comisión de expertos que había sido nombrada un año antes, en 1846. Decía el ministro que el Gobierno aceptaba la propuesta de dicha comisión por cuatro razones, aunque reconocía «el temor a las innovaciones peligrosas por las resistencias que opondrán los hábitos envejecidos»¹⁰:

- por la invariabilidad del metro,
- por estar ya admitido en Francia y ser este un país con el que se mantienen muchas relaciones comerciales,
- por estar muy difundido en la ciencia y el comercio, y
- porque también habían participado españoles en la medición del arco de meridiano.

Con estas cuatro razones se presentaba el sistema métrico decimal por primera vez ante las Cortes de España. Desde luego, todos los argumentos del ministro eran rebatibles. En primer lugar, cualquier otra unidad lineal sería invariable sin más que someterla al rigor de la metrología científica. El segundo motivo, su impulso en Francia, donde ya se había declarado obligatorio en los usos sociales desde 1840, había puesto ya de manifiesto una fuerte oposición popular e innumerables problemas téc-

¹⁰ *Diario de las Sesiones de Cortes*, sesión del 26 de marzo de 1847, apéndice al n.º 70, p. 1.

nicos; por no hablar de su potencia antagónica, Inglaterra, que impulsó su sistema imperial en 1824 bajo los principios de un sistema «nacional y sentido como propio». En cuanto a la tercera de las razones, estaba difundido, desde luego, en la ciencia —casi nada en el comercio—, pero también lo estaba el sistema metrológico legal ordenado en 1801. Y, por último, muy bien sabía el ministro que no se podía hablar de una verdadera participación española en la determinación del metro, y que su concepción original era puramente francesa.

Lo que era irrefutable era ese «temor a las innovaciones peligrosas» y a las «resistencias de los hábitos envejecidos» para un sistema como el métrico, al que sin duda se le preveía una fortísima resistencia popular, como después demostró la historia.

El temor era innegable. Las palabras de Roca de Togores recogían una propuesta anterior, de 26 de marzo de 1846, elaborada por tres científicos: Alejandro Oliván,



7.3. Sanción legal del sistema métrico decimal en España en 1849 y medalla conmemorativa del centenario: La sanción legal fue una de las muchas reformas emprendidas durante la *Década Moderada* para la modernización del país y de la Administración del Estado. Su aprobación debe mucho al impulso de Bravo Murillo como ministro de Comercio, Instrucción y Obras Públicas, y muy especialmente al ingeniero industrial y director del Real Conservatorio de Artes Joaquín Alfonso (del que no se conoce imagen alguna), así como al diputado y científico Alejandro Oliván, inspiradores del texto legal y defensores de su polémica aprobación en las Cortes. En el anverso de la medalla (1949) se aprecia el busto de Isabel II, y en el reverso, la sección en x del metro prototipo de platino iridiado sancionado legalmente en 1892. El óleo con retrato de Bravo Murillo se debe a Manuel García Martínez, Hispaletto (1877, Congreso de los Diputados). El grabado con la imagen de Oliván fue publicado por *La Ilustración Española y Americana*.

Juan Subercase y Joaquín Alfonso —a quienes cabe atribuir la paternidad del texto legal—. Dicha propuesta había tardado justo un año en ser aceptada por el ministro. Presentada en las Cortes por Roca de Togores el 26 de marzo de 1847, el proyecto de ley anduvo durante más de dos años entre despachos y en manos de diversas comisiones de diputados, coincidiendo además con otros dos cambios de Gobierno, los de Pacheco y García Goyena, que tampoco se decidieron a impulsarlo.

Lo que hacía falta de verdad era alguien que desde los resortes del poder político creyese en su implantación como el único camino para atajar la diversidad metrológica y como un medio más para la modernización del país. Alguien que no sufriese aquellos «temores a los hábitos envejecidos» de los que nos hablaba Roca de Togores... Y, en estas circunstancias, su definitivo impulso fue obra de un ministro, Bravo Murillo, cuyo ascenso político se dio precisamente en 1849, el año de la sanción del texto legal, y que le llevaría poco después a ocupar la presidencia del Gobierno como cabeza de fila del moderantismo político español.

De hecho, las sesiones de Cortes de mayo de 1849 muestran a Bravo Murillo defendiendo el proyecto —acompañado por Alejandro Oliván— frente a la mayor autoridad de la época: el también diputado Vázquez Queipo, autor de un voto particular en el que proponía un sistema metrológico como el antes expuesto, acreditado por la ley y la costumbre. Bravo Murillo combatió directamente las ideas de Vázquez Queipo y se opuso a otros votos particulares que veían en el sistema métrico «el fin de una Monarquía con cinco siglos de historia», o que proponían su aplazamiento o el recabar informes de instituciones científicas, bajo el argumento de que tales concesiones iban a acabar con la no aprobación de una ley de innegable necesidad para el progreso del país. Sus palabras se recogieron incluso en algunos manuales escolares y a él le fueron dedicadas obras de divulgación sobre el sistema métrico por la tenacidad con que supo defenderlo en las Cortes.

El sistema métrico decimal y su nomenclatura científica entraban así en la legislación española tras ser sancionados por Isabel II el 19 de julio de 1849. Merece la pena resaltar la fecha: 1849. En ese momento el sistema métrico solo había recibido sanciones legales en Francia, Bélgica, Holanda, en dos repúblicas italianas y en Chile, el primer país de Latinoamérica que lo hizo suyo, en 1848. Quizá era ya previsible una gran confederación científico-industrial entre países, como dijo el diputado Andrés Merelo en los debates de las Cortes¹¹, pero en 1849 era todavía una apuesta de futuro. España marcaba así, y por iniciativa de Bravo Murillo, un compás por delante de otras potencias científicas, y además con una ley que no admitía comparación con la que habían sancionado otros países: en la ley de 1849 se declaraban con valentía los mecanismos y los plazos para llevar a buen término la unificación; en consecuencia, el texto legal se convertía en una verdadera ley de combate contra costumbres de siglos.

¹¹ *Diario de las Sesiones de Cortes*, sesión del 3 de mayo de 1849, apéndice al n.º 87, p. 22.

La diezmillonésima parte del cuadrante de meridiano del polo norte al ecuador sería la raíz de todas las medidas y su patrón físico era el metro de platino que Ciscar trajo a su vuelta de París en 1800 y que se custodiaba en el Conservatorio de Artes.

Es notoria la obligación de su enseñanza en todas las escuelas y en las clases de aritmética, como se dice en el artículo 11, muestra de la sensibilidad de la comisión que redactó el texto legal —recordemos a Oliván, Alfonso y Subercase— para entender la importancia del aparato escolar en los cambios de costumbres. Es también un símbolo de la voluntad unificadora del Estado lo que se dice en el artículo 7 sobre la publicación de una farmacopea legal con las dosis expresadas en las nuevas unidades, lo que suponía someter el sistema ponderal de las farmacias, que había quedado intacto desde el siglo XVI a pesar de los diversos intentos de unificación, al único sistema de pesos y medidas del Estado.

En la ley se establecía la reducción de todas las medidas de las provincias a las legales, el envío de colecciones tipo a todos los municipios, la publicación de un reglamento para el ramo, el establecimiento de un mecanismo de vigilancia y control, la obligación de redactar los contratos públicos, escrituras y registros con las nuevas medidas..., lo que debía terminar con su implantación en la Administración en 1853 y en los usos sociales en 1860.

VI

LA COMISIÓN DE PESOS Y MEDIDAS

Para garantizar la reforma y asesorar las decisiones del Gobierno, el mismo 19 de julio de 1849 se nombraba una Comisión de Pesos y Medidas que se establecía en el Real Conservatorio de Artes, al año siguiente transformado en Real Instituto Industrial¹². Formaron parte de ella los ya citados Alejandro Oliván, Joaquín Alfonso, Juan Subercase y Vicente Vázquez Queipo —incluido este, quizá, por su autoridad a pesar

¹² La implicación del Real Conservatorio de Artes (RCA) y sus miembros con el nuevo sistema de pesas y medidas arranca con Juan López de Peñalver, su primer director. También director del RCA y de su continuador, el Real Instituto Industrial, Joaquín Alfonso tendrá un papel muy relevante. De forma adicional, muchos de los profesores de esta institución pertenecieron a las sucesivas comisiones; entre otros, Antonio Gutiérrez, Isaac Villanueva, Manuel María de Azofra, Miguel Maisterra, Magín Bonet y Rafael Escriche. Fernando Boccherini Gallipoli, profesor de Elementos de Aritmética y Geometría para Artesanos, publicó en 1849 una *Aritmética* que contiene un capítulo dedicado al «Sistema métrico decimal que se usa en Francia». En particular, el RCA-RII será depósito de patrones de pesas y medidas legales tradicionales, así como de los originales del sistema métrico decimal. Por Real Decreto de 20 de diciembre de 1878 el Servicio de Pesas y Medidas pasa a depender de la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, y deja la Dirección General de Obras Públicas, Comercio y Minas. Véase, en el volumen v de esta colección, la sección VII.1. del capítulo 4, «Centro técnico consultivo y sistema métrico decimal (pesas y medidas)» (P. J. RAMÓN TEJJELO y M. SILVA SUÁREZ, 2007, pp. 270-276).

de sus declaradas opiniones contrarias manifestadas en los debates de las Cortes—, y otros como el responsable de la dirección general de la que competía el ramo —la de Agricultura, Industria y Comercio—, Cristóbal Bordiu, y el senador Vicente Sancho, a los que poco después se les sumaron Manuel María de Azofra, Lucio del Valle y Buenaventura Carles Aribau. Todos ellos, científicos destacados y vinculados con las reformas de la década moderada, y en consecuencia comprometidos con la voluntad del Gobierno.

Pero el metro de platino del que hablaba la ley, que de hecho sí trajo Ciscar en 1800, no se encontró en el Conservatorio de Artes¹³. En consecuencia, lo más inmediato fue enviar un comisionado a París a fin de hacer construir nuevos prototipos del metro y del kilogramo, traer colecciones de las que el Gobierno francés destinaba a sus departamentos, así como material científico, y conseguir reglamentos franceses para adaptarlos a la legislación española. Como vemos, la Comisión se inspiró siempre en el modelo francés para la implantación del sistema métrico en España.

Joaquín Alfonso, director del Conservatorio de Artes, ingeniero formado en París, nos ha dejado una importante correspondencia con motivo de su comisión en la capital de Francia con estos objetivos. Auxiliado por el propio embajador y por varios miembros del Instituto Nacional de Francia y de su Academia de Ciencias, como François Arago, estableció contactos con los más prestigiosos fabricantes de instrumentos matemáticos de la época: Paul-Gustave Froment (1815-1865) y Henri-Prudence Gambey (1787-1847)¹⁴. El primero de ellos fue el encargado de construir un metro de platino de sección triangular (para economizar la cantidad de platino, es decir, para reducir costes) que definía la longitud patrón a trazos en una de sus caras y a cantos en otra, y un kilogramo cilíndrico, también de platino, que fueron cotejados con los prototipos del Bureau des Poids et Mesures francés y cuyas constantes físicas quedaron determinadas tras delicadas operaciones en el Conservatoire des Arts et Métiers de París. Estos fueron los patrones primarios del sistema métrico para España.

Los prototipos de Froment, otros fabricados por Gambey y diverso material de precisión, como un comparador de longitudes de latón dorado que apreciaba centé-

¹³ Este dato no consta en las *Actas de la Comisión*. Se conoce por un informe posterior del 8 de mayo de 1861 del «Expediente para facilitar a la Comisión el local, papeles y enseres correspondientes a la misma y que existían en la antigua comisión...», en *1 Legajo 21* (Estante 1, legajo n.º 21) del archivo del Centro Español de Metrología (CEM).

¹⁴ Nacidos ambos en el seno de familias de tradición mecánica, Froment estudió en la École Polytechnique, aunque formó parte de esa minoría que rehuyó hacer carrera en la Administración del Estado francesa. Destacado inventor y mecánico de precisión, trabajó particularmente sobre el telégrafo, los motores eléctricos lineales y los instrumentos de medida. Gambey fue un innovador fabricante de instrumentos de precisión (sextantes, teodolitos, helióstatos, brújulas, etc), quizás el más hábil de la primera mitad del XIX en Francia. Integrante del Bureau des Longitudes, fue elegido miembro de la Académie des Sciences, sección de Mecánica, en 1837.



7.4. Juegos del sistema métrico construidos en París en 1850: Fueron realizados por Paul-Gustave Froment (1815-1865), destacado mecánico de precisión salido de las aulas de la *École Polytechnique*. (Fot.: MSS).

simas de milímetro, fueron traídos a España con el intermedio de la embajada e instalados en el Real Conservatorio de Artes a finales de 1850¹⁵.

Con los prototipos en España, la segunda de las tareas, como se indicaba en la ley, era la reducción de las pesas y medidas tradicionales de las provincias a las nuevas unidades. Para ello, los gobernadores habían recibido una circular de Bravo Murillo en la que se les solicitaba la construcción de tres copias de los tipos fundamentales de las pesas y medidas de uso común usadas en la capital y un informe sobre las costumbres metrológicas de la provincia para la medida de la tierra, para la medida itineraria y sobre el sistema de múltiplos y divisores tradicionales. Todo llegó a Madrid y

¹⁵ Dichos instrumentos se encuentran en la actualidad en el Museo de Pesos y Medidas del Centro Español de Metrología (Tres Cantos, Madrid).

fue cotejado con las nuevas unidades en el Conservatorio de Artes por el propio Joaquín Alfonso. Dichos tipos tradicionales, algunos de ellos de extraordinaria belleza y contruidos con gran esmero, se encuentran actualmente en el museo histórico del Centro Español de Metrología y constituyen un valioso testimonio de la historia de la metrología tradicional española.

Fue también cotejada con el metro la que se consideraba la vara original de Castilla y raíz de todas las medidas sancionadas en la unificación de 1801. Dicha vara, de hierro, que efectivamente tenía marcado a fuego de fragua el año 1568, en el que Felipe II la ordenó para toda la monarquía hispánica, y un sello *caput castellae* que la acreditaba como la verdadera vara de Castilla, fue llevada a Madrid directamente desde Burgos¹⁶, en cuyo ayuntamiento se conservaba desde el siglo XVI. Su equivalencia con el metro fue determinada hasta la centésima de milímetro y arrojó el mismo valor que Ciscar obtuvo en París en 1799.

Los resultados se publicaron en la *Gaceta* de Madrid a finales de 1852 y remitidos, junto a la ley de 1849, a todas las dependencias públicas. Esta fue la primera publicación del Estado sobre sistema métrico decimal fuera del ámbito de la prensa oficial¹⁷.

VII

LOS PRIMEROS APLAZAMIENTOS Y EL PROBLEMA DE LA INDUSTRIA METROLÓGICA

Pero no iba a ser tan fácil la tercera de las tareas que la ley ordenaba para dejar implantado el sistema legal de medidas en la Administración del Estado en 1853, y que consistía en dejar colecciones métricas en las capitales de provincia para después continuar con los pueblos cabeza de partido y, más adelante, las restantes poblaciones. Una subasta para la fabricación de 56 de ellas, iguales a los modelos traídos de París, que fue adjudicada a la Fundición Barcelonesa de Bronces, iba a demostrar bien pronto la incapacidad de la industria española para dar salida al problema técnico de la reforma. Más de dos años tardaron en llegar a las capitales de provincia, donde debían servir como tipos oficiales de comparación, y, como siempre se reconoció, eran de una manifiesta baja calidad material y metrológica. Las actas y los informes de la comisión de profesores del Conservatorio de Artes que las verificó nos narran la floja calidad de las maderas y las fundiciones y sus exageradas diferencias respecto de los prototipos franceses¹⁸.

¹⁶ *Actas de las sesiones de la Comisión de Pesos y Medidas*, vol. 1, sesión del 3 de diciembre de 1849, y «Diligencias practicadas con la vara original de Castilla», en 2 *Legajo 18*, CEM.

¹⁷ *Gaceta de Madrid*, 28 de diciembre de 1852.

¹⁸ *Actas de las sesiones de la Comisión de Pesos y Medidas*, vol. 1, sesiones del 25 de abril y del 30 de mayo de 1852. Informe de Joaquín Alfonso de 2 de junio de 1852 sobre la verificación de las colecciones, doc. 29 del «Expediente sobre el planteamiento del sistema métrico decimal en España», en 7 *Legajo 33*, CEM.

Pero las necesidades de la implantación del sistema métrico en la Administración exigían poner en servicio muchas más de las 56 colecciones subastadas en 1851. De hecho, se precisaban otras 1.200 para dotar a los ministerios y a los municipios cabeza de partido. Además, para los municipios de menor vecindario había que fabricar 8.400 más, aunque con un número menor de piezas. Y, sin embargo, la exigua industria española tardaba más de dos años en construir 56 y de mala calidad.

Los informes despachados por la Comisión de Pesos y Medidas entre 1852 y 1854 nos hablan de que hay dificultades por tratarse de «una industria nueva en España» y de que «en España no es posible tenerlas ni bien construidas ni en número suficiente», y también de la «conveniencia de proteger a la industria nacional» en consecuencia con la filosofía proteccionista del Estado del momento, lo que, en principio, dejaba fuera la posibilidad de importarlas todas desde Francia, como en algún momento fue propuesto por la Comisión de Pesos y Medidas al ministro del ramo.

Ante el Estado, pues, y ante la Comisión se planteaba un problema insalvable. Un decreto dado el 31 de diciembre de 1852 por el ministro Aristizábal era sincero ante el problema: se aplazaba hasta el año siguiente la introducción del sistema métrico en la Administración porque no se podían construir colecciones ni en número ni en calidad suficientes. Le siguió un segundo decreto por las mismas razones. Y todavía un tercero, dado el 4 de noviembre de 1854 por Doménech, la posponía bajo el mismo argumento. Entre 1854, coincidiendo con los problemas políticos del Bienio Liberal, y 1860, ni siquiera se publicaron ya más decretos de aplazamiento, y el hecho de que solo se llevaran a cabo dos reuniones de la Comisión del ramo durante estos seis años venía a demostrar que el primer envite del sistema métrico en España estaba perdido. Como igualmente estaba perdida la posibilidad de declararlo obligatorio para todos los ciudadanos en 1860, como se preveía en la ley. El ritmo de los trabajos no se recuperó ya hasta la década de los sesenta, en otras circunstancias políticas y económicas.

VIII

LA POLÉMICA SOBRE EL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

Paralizada la unificación y fracasada la reforma metrológica, la polémica estaba servida. ¿Había introducido el Estado un sistema de pesos y medidas que no había sabido plantear en su Administración?, o, como dijo algún autor, ni siquiera lo «ha sabido plantear con fuerza para llevarlo a efecto entre sus subordinados»¹⁹.

La polémica sobre el sistema métrico decimal en España, encendida en la prensa en 1847, cuando Roca de Togores presentó el primer proyecto a las Cortes, incorporaba ahora, tras el fracaso declarado, nuevos argumentos y nuevos apologistas para justificar una reforma imposible. Surgía así una interesante literatura sobre pesos y

¹⁹ E. QUET PUIGVERT, 1858, p. 8.

medidas en la que ingenieros militares, ingenieros de minas, oficiales de la Marina, catedráticos de universidad y de instituto, autores anónimos o simples aficionados a las ciencias protagonizaron un debate que tiene mucho que ver con las interacciones entre la ciencia y los grupos sociales que la reciben. Un debate, en suma, entre ciencia e ideología que alcanzó incluso la pluma de literatos —como el romántico Juan Eugenio de Hartzenbusch, el conocido autor de *Los amantes de Teruel*— o de personajes vinculados al mundo del teatro. Y, en efecto, la representación cómico-lírica que sobre el sistema métrico pudieron contemplar los madrileños en el teatro de Recoletos todavía en 1881 es una buena muestra de las resistencias que el sistema métrico decimal encontró para su aceptación social²⁰. En este disparate cómico, como indicaba su título, se parodiaba la confusión en el mercado de Madrid por culpa de unas medidas que nadie entendía: la vana pretensión de que las verduleras hablasen griego y latín era rematada por el autor, Sanz de Castro, con un coro de personajes que a la caída del telón cantaban:

arriba los machos,
vivan las hembras,
mueran los kilos,
vivan las libras.

En realidad, esta polémica, que llegó hasta la mejor prensa científica de la época, como el *Memorial de Ingenieros*, el *Memorial de Artillería*, la *Revista de la Academia de Ciencias...*, tenía serios fundamentos para existir. La propia decimalización de las medidas se veía absurda. Uno de los principales problemas que encontró el sistema decimal para su aceptación social fue precisamente que era *decimal*. A un comerciante de paños, por ejemplo, no tiene ningún sentido hablarle de 1,33 varas; sí, en cambio, lo tiene el hablarle de 1 vara y 1 pie. Los pesos y medidas decimales pierden todo el sentido si no se conocen los rudimentos de la aritmética decimal, y pensemos que los índices de analfabetismo de la época eran asombrosos. Y pensemos también cuán atónito podía quedar un comerciante cuando un misterioso sistema de comas móviles le permitía pasar de unas unidades a otras.

Incluso la propia constancia de las nuevas unidades, frente a la variabilidad de las tradicionales, era absurda, a pesar de que a nosotros no nos cabe en la cabeza la utilización de un sistema variable. De hecho, el comercio, desde tiempo inmemorial, estaba planteado con unas unidades para la compra y otras distintas para la venta, y en la diferencia misma estaba la ganancia. Así, nada de extraño tenía que un comerciante de carnes comprara productos por arrobas de 25 libras y que los vendiera por arrobas de 24 libras, por haber en dicha diferencia ganancia comercial. Como tampoco tenía nada de extraño para el comercio de aguadores que las unidades de medida del agua cambiaran en función de los años de abundancia o de sequía, o también, inclu-

²⁰ P. SANZ DE CASTRO, 1881.

so, en función de la distancia a la fuente que servía de abrevadero. Un ejemplo más nos ilustra esta cuestión: las mismas medidas tradicionales de la tierra variaban en el tiempo en función del agotamiento de los terrenos.

Hubo también argumentos ideológicos que identificaban las nuevas unidades con la Revolución francesa y las consideraban contrarias a las costumbres y a la propia monarquía; e incluso de tipo religioso, como en el caso de Joaquín de Irizar, para quien el metro era producto del ateísmo francés, por lo que reclamaba la autoridad del Papa para decretar la unificación de las medidas²¹. Los hubo también que cuestionaron la invariabilidad de la unidad fundamental, el metro, por las irregularidades geodésicas de la Tierra.

IX

LA ENSEÑANZA DE LOS NUEVOS PESOS Y MEDIDAS

A pesar de la polémica, el sistema métrico decimal encontró en la escuela el medio más adecuado para su difusión social en 1852, año en el que, según la ley, se hacía obligatorio en todos los establecimientos educativos.

De hecho, en 1852, cuando el sistema métrico entró en la escuela, la organización del aparato escolar se contaba ya como uno de los más grandes éxitos de las reformas emprendidas por la burguesía en el poder para la modernización del país. Los sucesivos planes educativos del duque de Rivas en 1838, de Pidal en 1845 y, más tarde, de Moyano en 1857, extendieron la enseñanza obligatoria a amplias capas de la población. Con una escuela ya organizada, el sistema métrico decimal encontró en las aulas el mejor camino para su expansión social, y protagonizó, además, una explosión bibliográfica de casi 700 títulos que salieron de la imprenta en su mayor parte para cumplir el papel de libros de texto (cuadro 7.3).

Enseñanza	337
Tablas de reducción	207
Manuales prácticos	36
Legislación	21
Proyectos y estudios	21
Polémicas y críticas	18
Metrología de precisión	14
Histórico-biográficos	4

Cuadro 7.3. Clasificación temática de los textos sobre el sistema métrico decimal (J. V. AZNAR GARCÍA, 1997).

²¹ J. de IRÍZAR, 1869.

El primero de estos textos monográficos lo debemos a Mariano Vallejo. Este autor, que inundó con sus libros todos los niveles educativos, fue sensible a muchas de las novedades de su época, como hizo precisamente en su *Explicación del sistema decimal o métrico francés* (Madrid, 1840), complemento de su *Aritmética de niños*, donde pretendía difundir las nuevas medidas, dado que desde dicho año, 1840, se hacían obligatorias en Francia para todos los ciudadanos. Fue reeditada en 1852 con anotaciones del inspector de enseñanza Vicente Cuadrapani, aunque esta vez en el título se suprimió el adjetivo *francés*, que figuraba en la primera edición.

Como se puede ver en el cuadro 7.4, la vinculación profesional de los autores de los 440 textos identificados sobre el sistema métrico fue extraordinariamente variada. No obstante, 128 de los textos (casi el 30 %) fueron escritos por profesores de instrucción primaria, colectivo docente que estuvo especialmente comprometido con la voluntad del Estado de enseñar el sistema métrico legal en todas las clases de Aritmética. Engrosan el conjunto de firmantes militares o ingenieros, para difundirlo en el



Cuadro 7.4. Vinculación profesional de los autores identificados y número de textos que publicaron sobre el sistema métrico decimal (J. V. AZNAR GARCÍA, 1997).

Ejército o en el mundo de la técnica, o autores que fueron auspiciados por ayuntamientos, diputaciones, ateneos o sociedades económicas (en el caso de la de Madrid se sabe del funcionamiento de una cátedra sobre el Sistema Métrico Decimal desde 1852, para cuyas enseñanzas fueron escritos diversos textos por Camilo Labrador). Constan también algunos textos firmados por catedráticos de universidad, como es el caso del bilbaíno Juan Cortázar, ingeniero por la École Centrale des Arts et Manufactures, que fue titular de la cátedra de Álgebra de la Universidad Central y que nos dejó en 1853 uno de las mejores obras escolares por sus planteamientos pedagógicos.

Por citar una iniciativa proveniente de un organismo oficial, de las que hubo muchas, merece la pena destacar la de la Diputación de Guipúzcoa. Dicha institución envió un comisionado en 1852 a recorrer los pueblos de la provincia para reducir sus medidas tradicionales a las legales; el comisionado, Policarpo de Balzola, redactó también un texto para la enseñanza que fue distribuido, junto a un metro de madera, por todas las escuelas y todos los municipios. Hubo otras iniciativas procedentes de diversas direcciones generales de la propia Administración, que dieron lugar a interesantes textos publicados para difundir el sistema métrico entre los funcionarios. Entre ellos merece ser destacado el que dejó escrito Canga Argüelles para los empleados de la Dirección General de Aduanas y Aranceles.

En fin, muchas iniciativas que además encontramos dispersas por todas las provincias, en Cuba, Puerto Rico y Filipinas, e incluso en pueblos que casi hicieron coincidir la edición de estas cartillas escolares con la llegada de la imprenta (cuadro 7.5).

X

UNA NUEVA ÉPOCA PARA EL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL

La implantación del sistema métrico en España había quedado suspendida justo en el Bienio Liberal, en 1854, con aquella insuficiencia de la industria para la fabricación de colecciones. Los trabajos fueron reemprendidos con cierta intensidad en la década de los sesenta. ¿Por qué precisamente esta década, y no antes ni después?

Hubo una razón de ámbito internacional que nos lo explica. En efecto, durante los años en que la reforma quedó suspendida en España, una cantidad considerable de países habían impulsado ya el sistema métrico en sus dominios, desbordando aquel compás que España marcó por delante de ellos en 1849. Ocho países de Latinoamérica y otros tres más en Europa habían comenzado a promoverlo en los usos sociales. Italia, por ejemplo, sellaba su unificación política en 1861 con la introducción legal del sistema métrico, que se convertía así en el emblema de la nueva nación.

Es también de dicha década el nacimiento de una conciencia sobre la unificación internacional de los pesos y medidas en foros de opinión como las exposiciones universales o los congresos de disciplinas científicas. España, como país vinculado con esta órbita de Estados, estaba obligada a impulsar definitivamente su reforma, que

Capitales de provincia		Otras ciudades	
Madrid	194		
Barcelona	78	San Martín de Provensals	5
		Vic	1
Valencia	37	Játiva	5
Zaragoza	20		
Alicante	17		
Málaga	17		
Valladolid	16		
Palma de Mallorca	12	Mahón	2
Gerona	10	Figueras	1
		La Bisbal	1
Granada	7		
Toledo	7	San Martín de Montalbán	1
		Talavera de la Reina	1
Burgos	5		
Castellón	5	Segorbe	1
San Sebastián	5		
Salamanca	5		
Badajoz	4	Don Benito	1
		Llerena	1
Cuenca	4		
Pamplona	4	Tudela	1
Orense	4		
Oviedo	4	Luarca	1
Sevilla	4		
Tarragona	4	Reus	1
Logroño	3		
Cáceres	2	Trujillo	1
Cádiz	2		
Santa Cruz de Tenerife	2		
Guadalajara	2		
Huelva	2		
Lérida	2		
Pontevedra	2		
Teruel	2	Alcañiz	2
Vitoria	2		
Bilbao	2		
Albacete	1		
Ciudad Real	1		
Córdoba	1		
La Coruña	1	Santiago de Compostela	4
Huesca	1	Barbastro	1
Las Palmas	1		
León	1	Astorga	1
Lugo	1		
Murcia	1	Cartagena	2
Zamora	1		
Almería	0		
Ávila	0		
Jaén	0		
Palencia	0		
Soria	0		

Colonias

La Habana	13
Santiago de Cuba	2
San Juan	5
Ponce	1
Manila	7

Extranjero

París	8
Marsella	1
Burdeos	1
Buenos Aires	1
Montevideo	1

Cuadro 7.5. Lugares de edición de la bibliografía española sobre el sistema métrico decimal
(J. V. AZNAR GARCÍA, 1997).

encontró, además, en dicha década, el privilegio de disponer del Gobierno de más larga duración del siglo XIX, el Gobierno liberal de O'Donnell. Otra razón más, tan importante como las anteriores, fue el expansionismo económico de los primeros años de la década de los sesenta y la liberalización arancelaria para la construcción del ferrocarril, que ayudaron a la importación de materia prima de Francia o Inglaterra para la fabricación de los millares de colecciones de pesas y medidas necesarias.

El camino se recorrió con rapidez, en tan solo ocho años, hasta que, por fin, el sistema métrico se declaró obligatorio para todos los ciudadanos desde el 1 de julio de 1868.

Transformada la Comisión de Pesos y Medidas en Comisión Permanente a finales de 1860 e incorporados a ella varios miembros más —como el químico Magín Bonet o el geodesta Frutos Saavedra—, los primeros informes elevados al ministro Rafael de Bustos nos transmiten cierta «ansiedad» por dejar la reforma metrológica en condiciones en un plazo brevísimo. Así, en 1861 se elevó un proyecto al Gobierno que consistía en convertir todas las pesas y medidas antiguas del comercio en métricas, mediante una red de cerrajeros que actuarían al simbólico precio de un real por pieza, siguiendo un sistema piramidal que comenzaría en Madrid y terminaría en todos los municipios cabeza de partido. Las varas pasarían a ser medios metros; las libras, medios kilogramos; los cuartillos, medios litros; las fanegas²², cuartos de hectolitro..., de modo que al mismo tiempo que se eliminaba una medida antigua se introducía una moderna en el comercio. Para la Administración se preveía importar desde Francia cuantas colecciones fuesen necesarias.

No obstante, el plan no fue aprobado por el Gobierno, y tampoco recibió la unanimidad de la Comisión Permanente. Los votos particulares de Vázquez Queipo y Camilo Labrador hacían ver los problemas técnicos de estas transformaciones, los inconvenientes mercantiles de un proyecto no planteado al mismo tiempo en toda la nación y, sobre todo, el freno que para la industria nacional supondría la masiva transformación de medidas antiguas, que bloquearía la demanda de las modernas²³.

El camino hasta la obligación de 1868 había de ser otro, como así fue. En efecto, ese año el Estado había conseguido publicar miles de tablas de reducción para uso de los funcionarios, subastar varios millares de colecciones métricas y organizar un servicio de fieles-almotacenes para garantizar el control de la unificación.

²² La fanega es una «medida de capacidad para áridos que, según el marco de Castilla, tiene 12 celemines y equivale a 55,5 l, pero es muy variable según las diversas regiones de España» (*DRAE*, 22.ª ed., 2001). No obstante, también es medida de superficie (fanega de tierra): «Medida agraria que, según el marco de Castilla, contiene 576 estadales cuadrados y equivale a 64,596 áreas. Esta cifra varía según las regiones» (ibíd.).

²³ Docs. 50 y ss. del «Expediente sobre el planteamiento del sistema métrico decimal en España», en *7 legajo 33*, y *Actas de las sesiones de la Comisión de Pesos y Medidas*, vol. 1, sesión del 15 de diciembre de 1861 y ss., CEM.

Lo más simple, sin duda, era lanzar esas tablas para que los funcionarios anotasen la medida oficial en todos los documentos públicos. Pensemos, por ejemplo, que reducir 3 arrobas, 4 libras y 7 onzas a kilogramos quizá no fuese tan simple teniendo en cuenta los niveles de cultura matemática de los funcionarios de 1860. De ahí su necesidad y el que en 1863 su tirada alcanzase los 40.000 ejemplares²⁴. Más tarde, ya en 1886, se distribuyeron de nuevo otros 30.000, pero con las equivalencias de todas las capitales de provincia.

Sin embargo, lo más complicado seguían siendo las colecciones. En estos años fueron subastadas, construidas, verificadas, punzonadas y transportadas a sus destinos 600 colecciones para los pueblos cabeza de partido judicial, otras 1.000 para los municipios no cabeza de partido con más de 2.000 habitantes y varios millares de colecciones parciales para los ministerios. En total, unos 250.000 tipos.

¿Cómo fue posible llevar adelante todo este trabajo? Sin duda, la década de los sesenta era otra época. En primer lugar, hay que señalar que, como consecuencia del aperturismo económico del período, los anuncios para las subastas de las colecciones no se limitaron a la *Gaceta* oficial, sino que también se hicieron públicos en la mejor prensa de Londres y París con el fin de atraer a fabricantes reputados en el exterior²⁵. En cualquier caso, se ha podido constatar la existencia de 25 firmas ligadas al ramo durante estos años, lo que nos viene a demostrar el ascenso de la industria metrológica en España. En Valencia, por ejemplo, la fábrica de Malabouche —un empresario de origen francés asentado en España a la búsqueda del bocado económico de las subastas— pudo construir sin dificultades las 600 colecciones para los pueblos cabeza de partido. Fue también muy competente la fundición vasca de Santa Ana de Bolueta, que remató la práctica totalidad de las pesas de hierro para los ministerios y los municipios no cabeza de partido. En Cataluña aparecen otras empresas ligadas con la fabricación de medidas lineales. Y hubo otros industriales que desde Valencia, Bilbao, Madrid o Barcelona importaron materia prima desde Francia e Inglaterra para producir medidas de hojalata y pesas de latón.

Una consecuencia inmediata de todo este movimiento fue que por primera vez se creó en España «escuela metrológica». La imposibilidad de verificar tantos tipos en las provincias de destino, por falta de medios científicos, obligó a su comprobación en el Real Instituto Industrial. A tal efecto fueron creadas cuatro «oficinas de verificación» —así se les llamó—, una para cada tipo de medida y cada una con un ingeniero industrial al frente, con personal auxiliar y material científico. Un reglamento sobre «verificación y marca» tomado del homólogo francés señalaba los procedimientos experimentales. Estas cuatro oficinas se convirtieron después en verdaderas escuelas

²⁴ *Tablas de reducción*, 1862-1863.

²⁵ *The Times*, 4 de septiembre de 1863, y *Le Siècle*, 9 de octubre de 1863. La correspondencia despachada por las embajadas con ocasión de los anuncios de las subastas se encuentra en *1 Legajo 26*, docs. 57 y ss., CEM.

de formación metrológica para los futuros fieles-almotacenes, los encargados del control de las medidas en la industria y el comercio a partir de 1868. Dichos profesionales, ingenieros industriales, accedían a sus plazas después de superar unas prácticas facultativas que se realizaban en los laboratorios de las oficinas de verificación y que consistían, principalmente, en calcular la equivalencia entre medidas antiguas y legales, reducir una medida a la temperatura teórica de 4 °C o al vacío, calcular la ley de estaño de una medida de capacidad o conocer los procedimientos de verificación y marca y la legislación del ramo.

XI

EL SISTEMA MÉTRICO DECIMAL, OBLIGATORIO EN ESPAÑA

El 1 de enero de 1868, 49 fieles-almotacenes nombrados por el Ministerio de Fomento tomaban posesión de sus cargos en las capitales de provincia. Se les entregaba de manos del gobernador un «estuche de verificación», fabricado en París por la casa Collot Frères, idéntico al de los verificadores franceses. Los estuches contenían diversos utensilios de precisión y artilugios para la marca de las medidas. Junto a ellos se les hacía entrega también de un juego de punzones fabricados por la Casa de la Moneda en Madrid. Estos era análogos a los que se usaban en Francia por los «vérificateurs des poids et mesures». Se establecieron sin sueldo fijo, cobrando según el arancel oficial publicado en la *Gaceta*.

Todo estaba ya dispuesto para declarar, por primera vez en la historia de España, el sistema métrico obligatorio para todos los ciudadanos. Aunque la entrada en vigor se había previsto para el 1 de julio de 1868, ciertos problemas en la Administración de Hacienda —por motivos de arreglo arancelario e insuficiencia de colecciones métricas y de ciertos aparatos de pesar— la aplazaron hasta el 1 de enero de 1869. A partir de dicha fecha llegaba ya la hora de la verdad para el sistema métrico en España.

Según el reglamento del ramo, aprobado por el Senado el 27 de mayo de 1868, todos los pesos, medidas e instrumentos del comercio debían ser sometidos a una verificación primitiva cuya realización quedaba garantizada una vez estampado un punzón que marcaba una corona real. Les seguiría una verificación anual en la que se les marcaba una letra correlativa con el orden alfabético, año tras año. Los gobernadores harían pública la lista de las industrias obligadas a la presentación de sus medidas ante el fiel-almotacén y el orden con el que el que dicho facultativo recorrería los pueblos cabeza de partido, una vez realizada la inspección en la capital. Los alcaldes también tenían su función: anunciarían en bando público la llegada del almotacén, pondrían un local a su disposición y le entregarían la colección de pesos y medidas recibida del Estado. Digamos, también, que como disposición transitoria el reglamento autorizaba la circulación de medidas antiguas transformadas en métricas, que también deberían ser verificadas y marcadas con el sello público.

Empecemos por el final: un fracaso. Desde el mismo momento en que se decretó la obligación, los gobernadores civiles hicieron saber al ministro el descontrol existente por la aparición de un considerable número de medidas antiguas cuya reducción a la legal era imposible. Varios municipios de ciudades importantes, caso de Barcelona, pedían la suspensión del decreto al verse desbordados por una infinidad metrológica que tropezaba con la aplicación de la ley. Se elevaron peticiones oficiales que argumentaban la incompatibilidad entre el nuevo orden metrológico y las costumbres inmemoriales.

En fecha tan temprana como 1868 se observa ya la resistencia de las medidas de áridos y de las de la tierra a desaparecer, pues estaban acreditadas por siglos de historia. Instancias de centenares de cosecheros, agricultores, medidores de granos o industriales rústicos hacían ver a sus gobernadores la imposibilidad de manejarse con los hectolitros y medios hectolitros. La fanega de Castilla, la cuartera de Cataluña, la barchilla de Valencia... bien pronto iban a demostrar que fueron hechas a la medida del hombre que las usa y que nada fácil iba a resultar desterrarlas. Se elevaron también a la superioridad solicitudes para cambiar la forma de las medidas legales por otra más manejable, tratando de recuperar la que estaba acreditada por siglos de práctica... Incluso sentó jurisprudencia, tras un largo proceso judicial, la sentencia que denegaba una petición de los sidreros de Guipúzcoa para que se permitiese el uso del *cañado* tradicional de madera²⁶.



7.5. Reproducciones del metro fabricadas en Barcelona: 1) «por la empresa Soley de Barcelona por orden del Excmo. Sr. D. Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, primer Marqués del Mulhacén, siendo Presidente de la Comisión Permanente de Pesas y Medidas en 1880», para las experiencias de verificación de la Comisión de Pesas y Medidas; 2) Metros de madera con cantoneras de latón para el servicio de los fieles-contrastes de pesas y medidas. (Fot.: MSS).

²⁶ *Enciclopedia jurídica española*, 1910, vol. 24, p. 732. Los sidreros de Guipúzcoa alegaban que las medidas de estaño legales viciaban los líquidos alcohólicos, por lo que solicitaban que se diese carácter legal a las de madera con las formas tradicionales, de más fácil manejo.

Otros problemas de índole organizativa encontraron los fieles-almotacenes al llegar a los municipios y, en muchos casos, hallar la colección oficial en un estado de inutilidad total o no ser atendidos por los alcaldes, quienes algunas veces decían desconocer el paradero de los presupuestos remitidos por el Estado para atender la compra de material de la oficina pública. Y más todavía: ya en 1868 aparece la batalla de los gremios que desde tiempo inmemorial tienen atribuciones propias para la verificación y marca de sus medidas, por lo que se niegan a recibir la visita del contraste público. Resultó espectacular la resistencia de los farmacéuticos, quienes pleitearon con el Estado todavía en el siglo xx por defender sus derechos seculares de verificación y marca, o la de los oficios de joyería y platería, o la de las mismas casas de moneda, e incluso la de algunas plazas del Ejército que alegaban tener oficiales mejor preparados para tales cometidos. También hubo muchos municipios que se negaron a entregar el servicio al Estado. El más notorio fue el caso de Madrid, cuya alcaldía no se doblegó a la legalidad hasta 1880, tras un importante pleito que terminó con la intervención del propio Consejo de Estado.

Pero hubo algo más. La situación política que se creó en España tras el destrocamiento de Isabel II, con el auge del cantonalismo y el federalismo, en absoluto propició la ansiada paz que requiere una reforma social. En muchas capitales —Murcia, Barcelona, Madrid, Santander, La Coruña...—, aprovechando el levantamiento cantonal, se destituyó al fiel-almotacén confiscándole sus punzones, el símbolo del poder del Estado. Los ayuntamientos populares de la época no vieron en el sistema métrico decimal aquella utopía de los sabios de la Revolución francesa, sino más bien una imposición del Estado burgués y centralista contra el que se levantó la revuelta popular del 68.

En resumen, según un informe de la Comisión Permanente elevado a Echegaray en noviembre de 1869, el estado de revolución política y las inmemoriales costumbres eran las causas del fracaso de la implantación del sistema métrico decimal en España²⁷. Poco después, con Amadeo de Saboya, una intervención del ministro Figuerola en las Cortes reconocía de nuevo el fracaso así como la negativa de los municipios a entregar al Estado los derechos de verificación y marca de medidas e instrumentos. Un decreto de Ruiz Zorrilla aplazaba de nuevo su obligación hasta el 1 de julio de 1871, reconociendo la imposibilidad de llevar adelante la reforma de los pesos y medidas por la actitud de las juntas revolucionarias.

Fue ya imposible normalizar la reforma. Un nuevo informe de Vázquez Queipo elevado a Echegaray en diciembre de 1872 habla con pesimismo del «espectáculo de lo que ocurre en Madrid como norma de lo que pasa en el resto de España, donde la mayor parte de las provincias carecen de fieles-contrastes [el nuevo nombre que se

²⁷ Doc. 134, del 25 de noviembre de 1869, en 7 *Legajo* 33, CEM.

les dio a los almotacenes], los cuales, por no tener sueldo fijo ni el amparo de alcaldes y gobernadores, abandonan sus cargos»²⁸.

Tampoco la I República encontró la ansiada estabilidad para emprender esas reformas que tanto afectaban a las costumbres, a pesar de la voluntad declarada en su proyecto de Constitución federal respecto a la necesaria unidad de las pesas y medidas. Durante la República se impulsó la participación de España —que, representada por Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, intervino en los trabajos de la Comisión Internacional del Metro reunida en París— en el asociacionismo internacional sobre el sistema métrico. Además, se acuñaron punzones para la verificación, se remitieron nuevas colecciones de pesos y medidas a los pueblos²⁹ y se publicaron decretos. Pero los informes hablan de muchas provincias en las que «no se conoce el paradero del fiel-contraste». Nuevos informes en 1877 y 1878 nos siguen hablando del estado de abandono de un sistema que solo ha conseguido introducirse en la Administración y en pocos centros industriales, pero que ha sido incapaz de desplazar el uso de las antiguas medidas.

XII

EL DECRETO DE 14 DE FEBRERO DE 1879 Y EL IMPULSO DEFINITIVO

El impulso para la unificación tuvo que esperar a la década de los ochenta, ya en la Restauración, con una situación de mayor estabilidad política y en unas circunstancias internacionales que de nuevo habían vuelto a desbordar a España. La firma en París del Convenio Diplomático del Metro el 20 de mayo de 1875 obligaba a España, junto a otros 17 Estados de Europa y América, a impulsar definitivamente el sistema métrico en todos los usos. Le obligaba también al sostenimiento de una Oficina Internacional —el conocido Bureau des Poids et Mésures de París— responsable de la custodia de unos prototipos internacionales con los que se deberían ajustar todas las reglas de precisión para los usos de la industria y de la ciencia.

En este nuevo contexto, al final de la primera legislatura de Cánovas, aglutinadas las fuerzas políticas alrededor del nuevo orden constitucional de 1876, el Decreto de 14 de febrero de 1879 dictaba, ya por última vez en la historia, la obligación del sistema métrico en todos los actos desde el 1 de julio de 1880. En dicho año eran subastadas 6.500 colecciones métricas que en 1884 entraban en servicio en los más pequeños

²⁸ Doc. 3, de Vicente Vázquez Queipo y Joaquín García, del 19 de diciembre de 1872, del «Expediente sobre el informe pedido por la dirección del ramo acerca del proyecto de reforma del servicio de pesos y medidas», en *5 Legajo 19*, CEM.

²⁹ Algunas incluso llegaron a ser confiscadas por los carlistas en su último levantamiento en Navarra. Hubo que compensar al transportista de las colecciones, Felipe Barroeta, por los problemas que dijo haber encontrado por este motivo, especialmente en Tudela (*Actas de la Comisión de Pesos y Medidas*, 2, sesiones del 8 de agosto de 1874 y el 18 de diciembre de 1876).

municipios del Estado. Se cerraba así el largo capítulo técnico que tantas dificultades acarreó desde 1849.

La organización del servicio de pesos y medidas quedaba sellada con un acto emblemático que afirmaba la voluntad del Estado: el Decreto de 4 de diciembre de 1880, aprobado por el pleno del Consejo de Estado, incautaba al Ayuntamiento de Madrid el servicio de almotacenía y restituía al fiel-contraste público, declarando ilegales todos los actos del municipio en materia de pesos y medidas. Repuesto el material en la mayor parte de las provincias, desde 1883 se comenzó a organizar la dotación de plazas de fieles-contrastes y a celebrar las primeras oposiciones, hasta llegar en 1895 a completar el servicio con más de 200 funcionarios en toda España. Con diversos altibajos, sobre todo en las provincias de escasa industrialización, donde siempre fue difícil situar a un fiel-contraste, por los bajos ingresos, el servicio de verificación y marca



7.6. La Revista Métrica, el medio de expresión de los fieles-contrastes: Su aparición en 1894 pone de manifiesto el progreso del sistema métrico en España y el ascenso de los fieles-contrastes de pesas y medidas como cuerpo facultativo del Estado. Editada en Zaragoza por el ingeniero Modesto Torres Cervelló—titulado por el Real Instituto Industrial en 1861 en la especialidad de Química—, se publicó hasta 1896. En la revista, financiada con suscripciones y publicidad, se muestran anuncios de una casa fabricante de Sevilla («Básculas, Romanas, Pesos, Pesas y Medidas de todas clases y dimensiones DEL SISTEMA DECIMAL») y otra comercial de Zaragoza, que aún existe.

llegó a normalizarse hacia 1900. Los responsables del control de las medidas llegaron a tener una organización propia como cuerpo facultativo y su propio medio de expresión. La *Revista Métrica*, publicada en Zaragoza en 1894 por el ingeniero industrial Modesto Torres Cervelló, les acreditaba ya como una pequeña comunidad científica en ascenso. A través de sus peripecias por los pueblos y las plazas comerciales y de sus informes elevados a la Comisión Permanente del ramo conocemos muchos de los problemas y de los pleitos de la unificación de los pesos y medidas en España.

Con los mecanismos de control en funcionamiento, el progreso del sistema métrico, aunque lento, fue ya perceptible con el último cambio de siglo. La división de provincias en varias zonas de verificación (por ejemplo, Barcelona, que siempre fue a la cabeza, llegó a dividirse en cinco con otros tantos responsables en cada una de ellas) era un buen síntoma del ascenso de las nuevas medidas. El aumento del número de pesas y medidas marcadas con el sello público era ya cuantificable. De un millón de ellas en 1888 se pasó a más de tres millones al cerrar la primera década del siglo xx, en la que también se publicaron decretos emblemáticos como la simple prohibición de la enseñanza de las antiguas medidas en la escuela o el sometimiento de las farmacias a la legalidad por sentencia del Tribunal Supremo.

Las importantes recaudaciones arancelarias de las provincias con mayores índices de verificación hicieron de los fieles-contrastes un cuerpo privilegiado con ingresos superiores a los de los más altos funcionarios del Estado. La aparición de montañas de pleitos, problemas, resistencias, recursos ante las denuncias... era ya una clara consecuencia de un reglamento que se aplicaba y que fue actualizado en 1895 y en 1906.

XIII

LAS NUEVAS DEFINICIONES DEL METRO

En 1892 el Gobierno se hacía cargo de dos copias de los prototipos de metro y kilogramo de platino iridiado que le correspondieron como signatario del Convenio Diplomático de 1875. Fueron depositados, en presencia del propio ministro —Aureliano Linares— en los locales del Instituto Geográfico y Estadístico. Con una nueva ley, de 8 de julio de 1892, se cerraba aquel combate abierto por la de 1849 y se sancionaban los nuevos prototipos con sus ecuaciones ajustadas a un patrón internacional custodiado en París. El nuevo metro, trazado con una precisión de una décima de micra, y el nuevo kilogramo, con la precisión de un microgramo, ya nada tenían que ver ni con el meridiano ni con el peso del decímetro cúbico de agua. Estas unidades, sin ley y sin costumbre, por supuesto, pero además sin significado alguno, eran solo un convenio entre países que adoptaban una unidad de medida común. La medición del meridiano había resultado absurda para la unificación metrológica, como ya dijera el sabio Lalande a los académicos franceses cuando se decidieron a emprenderla.



7.7. Los patrones españoles del metro correspondientes al Convenio Diplomático de 1875 (fol.: MSS): Prototipos número 17 y número 24, de platino iridiado en forma de x (o sección de Tresca; su forma real se puede observar en el montaje sobrepuesto). Son los que correspondieron a España en el sorteo celebrado en París el 28 de septiembre de 1889 en el seno de la primera Conferencia General de Pesos y Medidas, de la que era presidente el representante español, Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero. Cada uno de ellos venía acompañado del correspondiente certificado del Bureau International des Poids et Mesures en el que se describía el complejo proceso de construcción. Siendo T la temperatura normal de la escala del termómetro de hidrógeno, la determinación de sus ecuaciones de dilatación con respecto al prototipo internacional dio el siguiente resultado:

- metro n.º 17: $L(T) = 1\text{ m} + 0,9\mu + 8,653T\mu + 0,00100T^2\mu \pm 0,2\mu$
- metro n.º 24: $L(T) = 1\text{ m} + 1,8\mu + 8,670T\mu + 0,00100T^2\mu \pm 0,2\mu$

El siglo xx aportó nuevas necesidades de precisión a la definición del patrón de longitud con las que se ha ido incorporando el progreso científico. Si con la segunda de ellas se recogía el conocimiento reciente sobre ciencia de los materiales (aleaciones inalterables por el aire, por la temperatura, por la presión y por el magnetismo, coeficientes de dilatación pequeños y constantes...), con la tercera definición el progreso de la mecánica cuántica permitía aumentar el nivel de precisión. Todo un programa de investigación dedicado al reconocimiento de isótopos puros, de *spin* nulo, de masa atómica elevada, de temperaturas de emisión reducidas y con rayas espectrales nítidas concluía con una nueva definición del metro como múltiplo de la longitud de onda de la radiación anaranjada del átomo de Kr-86. Con la cuarta definición, es la nueva tecnología de medición de frecuencias de láseres He-Ne la que ha permitido definir el metro en función de la velocidad de la luz en el vacío. Entre la primera y la última definición, una ganancia de precisión de 10^5 sitúa al metro en pleno siglo xxi, para el que queda todavía el reto de definir el kilogramo como un múltiplo de la masa de una partícula elemental.

Las últimas definiciones, así como el sistema internacional de unidades, fueron sancionadas por la legislación española³⁰. El siglo xx, testigo de este progreso, lo fue también de la agonía de las viejas medidas, de las que solo algunas, quizá porque las hizo el hombre a su imagen, han perdurado hasta hoy.

BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ GUERRA, J.: *Ideas sobre metrología, por [...], capitán de artillería e ingeniero geógrafo*, Madrid, Talleres del Instituto Geográfico y Estadístico, 1921.
- ARRILLAGA, F. de P.: *Fundamentos matemáticos de la novísima metrología de precisión*, discurso pronunciado en la RACEFN, Madrid, Imprenta de don Luis Aguado, 1890.
- AZNAR GARCÍA, J. V.: «Antonio Suárez (1821-1907) y la polémica sobre la adopción del sistema métrico decimal en España», en *Actas del V Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas (Murcia, 18-21 de diciembre de 1989)*, Murcia / Barcelona, DM / PPU, 1991, vol. II, pp. 1342-1358.
- *La unificación de los pesos y medidas en España durante el siglo XIX: los proyectos para la reforma y la introducción del sistema métrico decimal*, tesis doctoral, Universidad de Valencia, 1997, microficha.
- «Dos sistemas de medidas (la introducción del sistema métrico decimal en España)», en *Las medidas y las matemáticas*, catálogo de exposición, Madrid, Senado / CEAMM, 2000, pp. 43-48.
- «La introducción del sistema métrico decimal en la literatura científica española (1850-1900)», *Hispanogalia: Revista Hispanofrancesa de Pensamiento, Literatura y Arte*, II (2005-2006), pp. 169-202.

³⁰ Ley 88/1967, de 8 de noviembre, declarando de uso legal en España el denominado Sistema Internacional de Unidades de Medidas S. I.

- AZNAR GARCÍA, J. V., y J. R. BERTOMEU: «La polémique sur l'adoption du système métrique décimal en Espagne», en S. Débarbat y A. E. Ten (eds.), 1993, pp. 97-110.
- BASAS FERNÁNDEZ, M.: «Introducción en España del sistema métrico decimal», en *Studi in onore di Amintore Fanfani*, Milán, A. Giuffrè, 1962, vol. IV, pp. 41-88.
- *Antiguos sistemas de pesos y medidas*, Bilbao, La Editorial Vizcaína, 1980.
- BIGOURDAN, G.: *Le système métrique des poids et mesures*, París, Gauthier Villars, 1901.
- BURRIEL, A. M.: *Informe de la Imperial Ciudad de Toledo al Real y Supremo Consejo de Castilla sobre igualación de pesos y medidas en todos los reinos y señoríos de S. M. según las leyes*, Toledo, Joaquín Ibarra, 1758.
- DÉBARBAT, S., y A. E. TEN (eds.): *Mètre et système métrique*, París / Valencia, Observatoire de Paris / Universidad de Valencia, 1993.
- «Le système métrique au XIX^e siècle d'après quelques exemples européens», *Physis: Rivista Internazionale di Storia della Scienza*, XXXI/2 (1994), pp. 581-587.
- Enciclopedia jurídica española*, Barcelona, Seix, 1910.
- Equivalencias entre las pesas y medidas usadas antiguamente en las diversas provincias de España y las legales del sistema métrico decimal, publicadas de real orden*, Madrid, Imprenta de la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, 1886.
- FONT SOLSONA, J.: «La creación del sistema métrico decimal y su implantación en España», *El Trabajo Nacional*, 1561 (septiembre de 1949).
- FRANCO MUÑOZ, J.: «El sistema métrico decimal en España, obligatorio desde el 1 de julio de 1880», *Boletín de la Asociación de Ingenieros Industriales*, 3 (1880).
- GARCÍA BELMAR, A.: *Los pesos y medidas en la España del siglo XVIII: propuestas e intentos de reforma*, tesis doctoral, Universidad de Valencia, 1992, microficha.
- GÓMEZ DE SALAZAR, J.: «Gabriel Ciscar. Aportación española a la creación del sistema métrico decimal», *Boletín de Metrología*, 2 (1955), pp. 119-140.
- GUTIÉRREZ CUADRADO, J., y J. L. PESET: *Metro y kilo: el sistema métrico decimal en España*, Torrejón de Ardoz, Akal, 1997.
- IBÁÑEZ E IBÁÑEZ DE IBERO, C.: *Resumen de los trabajos del Comité Permanente de la Comisión Internacional del Metro*, Madrid, Establecimiento Tipográfico de Aribau y Cía., 1872.
- «Compte rendu à la première Conférence Générale sur les travaux accomplis par le Comité et le Bureau International», en *Travaux et Mémoires du Bureau International des Poids et Mesures*, VII (1890), 13 pp.
- IRÍZAR, J. de: *Memoria sobre lo absurdo del sistema métrico decimal*, San Sebastián, Imprenta de Ignacio Ramón Baroja, 1869, 60 pp.
- Ley de Pesas y Medidas de 19 de julio de 1849. Reglamento para su ejecución y disposiciones oficiales de carácter general referentes al planteamiento del sistema métrico decimal*, Madrid, Imprenta del Colegio de Sordomudos y Ciegos, 1868.
- Ley de Pesas y Medidas de 8 de julio de 1892 y reglamento para su ejecución*, Madrid, Imprenta de la Dirección General del Instituto Geográfico y Estadístico, 1895.

- LÓPEZ SÁNCHEZ, J. F., y M. VALERA CANDEL: «Gabriel Ciscar en el Congreso de Unificación de Pesas y Medidas de París de 1798», *Asclepio*, XLVI/1 (1994), pp. 3-35.
- LORENZO PARDO, J. A. de: *La revolución del metro*, Madrid, Celeste, 1998.
- MAYORA, M. de: *Cosmómetro o Tratado de las medidas de la naturaleza*, Barcelona, Imprenta de Tomás Gorch, 1855.
- MOREU REY, E.: *El naixement del metre*, Palma de Mallorca, Moll, 1956.
- PUENTE FELIZ, G.: «El sistema métrico decimal: su importancia e implantación en España», *Cuadernos de Historia Moderna y Contemporánea*, 3 (1982), pp. 95-125.
- QUET PUIGVERT, E.: *Medidas y pesas españolas, su discordancia, su uniformidad y su correspondencia entre sí y con las métricas francesas*, Madrid, Imprenta de Vicente Maldonado, 1858.
- RAMÓN TEJELO, P. J., y M. SILVA SUÁREZ: «El Real Conservatorio de Artes (1824-1887), cuerpo facultativo y consultivo auxiliar en el ramo de industria», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. v: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007, pp. 235-294.
- SANS HUELLÍN, G., y E. GARBALLO RIBOT: *La Comisión Permanente de Pesas y Medidas: resumen histórico*, Madrid, Talleres del Instituto Geográfico y Catastral, 1947.
- SANZ DE CASTRO, P.: *El sistema decimal: disparate cómico-lírico en un acto y en prosa*, música de Tomás Gómez, Madrid, Imprenta de José Rodríguez, 1881.
- Tablas de reducción de las pesas y medidas legales de Castilla a las métrico-decimales formadas por orden del Gobierno por la Comisión Permanente de Pesas y Medidas*, Madrid, Imprenta y Estereotipia de M. Rivadeneyra, 1862-1863.
- TEN, A. E.: «El sistema métrico en el siglo XIX», en *XIX International Congress of History of Science. Symposia survey papers – plenary lectures*, Zaragoza, XIX ICHS, 1993, pp. 147-150.
- *Medir el metro: la historia de la prolongación del arco de meridiano Dunkerque-Barcelona, base del sistema métrico decimal*, Valencia, Universidad, 1996.
- URIARTE GOROCICA, J. de: «El sistema métrico en Europa», *Boletín Industrial*, mayo-junio de 1904.

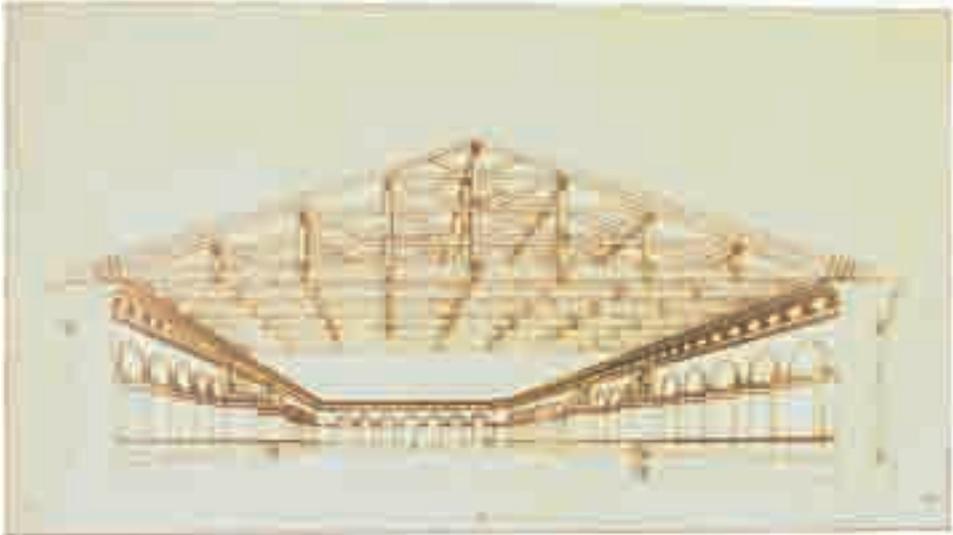
Mecánica de medios continuos y teoría de estructuras

Alberto Fraile y Enrique Alarcón
Universidad Politécnica de Madrid

En este capítulo se reflexiona sobre la evolución en el siglo XIX de lo que en Italia solían llamar *scienza delle costruzioni*. En dos palabras: se trata de la aplicación de modelos de cálculo basados en la mecánica racional para determinar la seguridad de las construcciones. En este sentido, el XIX ofrece un cambio radical respecto al panorama de siglos anteriores, en los que lo fundamental era la experiencia constructiva y el proceso lento; lento tanto en la formación de técnicos como en la materialización de obras, donde la falta de herramientas de cálculo para prever comportamientos condujo en ocasiones al uso de modelos físicos a escala reducida para demostrar la seguridad de las construcciones o la factibilidad de su proceso edilicio.

El capítulo se refiere exclusivamente a modelos abstractos (ni siquiera a los ensayos de laboratorio que pusieron de manifiesto nuevos fenómenos), a pesar de lo cual conviene arrancar con cuatro ejemplos reales, uno por cada cuarto de siglo, que pongan de manifiesto los cambios de enfoque producidos en la construcción. El primero es una celebrada estructura de madera cuya seguridad fue comprobada mediante ensayos sobre elementos a escala real (fig. 8.1). Insuperable en la elegancia de su diseño, el segundo, el viaducto de las Cabrillas (1851) (véase la fig. 10.6, en este mismo volumen), fue proyectado y construido en piedra por Lucio del Valle en la cuesta de Contreras.

El tercer ejemplo podría ser un puente colgante o «colgado», como se denominaban en la época, de los numerosos que se construyeron en España en la segunda mitad de siglo, pero, por su envergadura y tipología, se ha decidido escoger un caso más tardío: el viaducto del Salado (fig. 8.2), en la línea de ferrocarril Linares-Almería, proyecto de José Olano (1897) llevado a cabo por la compañía Fives-Lille. El proceso de lanzamiento por empuje hasta entroncar con el túnel del estribo izquierdo fue presenciado en enero de 1899 por un grupo de alumnos de la Escuela de Caminos encabezados por su director, Rogelio Inchaurreandieta, y diferentes profesores, entre los que se encontraban Serafín Freart, encargado de Mecánica Aplicada, y Luis Gaztelu, profesor de Puentes. Con sus pilas de alrededor de 110 m de altura y sus vanos de otro tanto, es un buen ejemplo de lo que Javier Manterola llama «la gran invención de todo



8.1. Construcción en madera: *Cubierta de la famosa sala de ejercicios ecuestres de Moscú (1818), diseñada por Agustín de Betancourt y descrita en BETANCOURT (1818).*



8.2. Construcción en hierro: *Viaducto del Salado, diseñado por José Olano (1897).*

el siglo XIX: la viga en celosía, invención de tanta o mayor trascendencia que la bóveda de piedra para el arco» (MANTEROLA, 2006). Aunque las cerchas de bronce del Panteón de Roma, debidas a Apolodoro de Damasco, o los esquemas de Palladio y las cubiertas de las iglesias góticas son precursores de esta tipología (MAINSTONE, 1975), está claro que solo en el siglo XIX el cálculo permitió racionalizar los diseños y alcanzar la simplicidad y efectividad que Manterola reconoce como invención.

Finalmente, la fig. 8.3 representa la construcción del puente de Golbaro en Santander, uno de los primeros de hormigón armado en España (1900), cuyo autor fue J. Eugenio Ribera (COLEGIO ICCP, 1982). Este nuevo material llegará a su pleno desarrollo en el siglo XX, no sin vencer la desconfianza de sucesivas generaciones. Por ejemplo, Amós Salvador, en su contestación al discurso de ingreso de J. Manuel de Zafra en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (ZAFRA, 1919), recoge el siguiente diálogo de Eduardo Saavedra, inspector de unas obras llevadas a cabo por Ricardo Bellsolá y otros: «¿Insisten ustedes en construir estos puentes de hormigón? —Sí, Don Eduardo. —¡Valor es!». Conviene advertir que esta desconfianza hacia el hormigón no hace más que repetir los mismos sentimientos, de vértigo ante lo nuevo, que se experimentaron años antes hacia los metales. Así, Bresse en 1859 dice:

L'avenir nous donnera la réponse; il montrera si les constructions en metal employées si fréquemment aujourd'hui dans les chemins de fer et les édifices publics ou privés finissent par cristalliser et perdre leur résistance après une certaine durée. (BRESSE, 1859).

En resumen, a los materiales clásicos, madera y piedra, se añaden en el siglo XIX los hierros y aceros, así como, finalmente, el hormigón. Ello motiva una reconsideración de la *tipología*, de las ideas sobre *seguridad estructural*, sobre los *métodos constructivos* y sobre el *cálculo* que produce la gran eclosión en la representación abstracta del comportamiento de las construcciones, lo cual solo es posible gracias al progreso de las ciencias.

Como decía Lucio del Valle en su ingreso en la RACEFN (VALLE, 1861),

Si se observan [...] los cortos progresos que han hecho las ciencias físicas hasta finales del s. XVI y el rápido vuelo que han tomado desde esta época, no se estrañará entonces la lentitud en los adelantos de las artes de la construcción que tienen su fundamento en aquellas ciencias [...]. No se suponía que las ciencias pudieran ejercerse sobre objetos comunes, que se ocupasen de las artes mecánicas, ni que descendieran a las minas, a los laboratorios, a los talleres...

Respecto a los conceptos contenidos en el título de este capítulo quizá las definiciones más sintéticas sean las de J. Manuel de Zafra en su discurso de ingreso en la RACEFN (ZAFRA, 1919):

La *mecánica interna* corresponde a [...] conocer [...] las cargas moleculares que soporta el material para proporcionar [...] la cantidad y distribución de este [...] La *mecánica externa*, [...] el cálculo de estructuras, es el estudio de las combinaciones de elementos constructivos para determinar las acciones que lo solicitan y las formas de agrupación más favorables.



8.3. Construcción en hormigón armado: *La construcción del puente de Golbaro, Santander, diseñado por J. Eugenio Ribera (1900).*

En lo que sigue se intentará, en un primer apartado, resumir la experiencia teórica hasta que Coulomb escribe su magistral ensayo. A continuación se tratarán someramente las diferentes líneas de trabajo generadas en países extranjeros, y finalmente se dará una visión personal de los esfuerzos llevados a cabo en España, que, aun disponiendo de centros docentes perfectamente conectados con lo que sucedía en el extranjero, no fue capaz de generar ninguna aportación original al debate internacional.

I

LA HERENCIA HISTÓRICA

Ya se han citado brevemente algunas realizaciones históricas del XIX, pero, en general, en siglos anteriores existe una falta de publicaciones achacable al secreto con que procedían las logias de constructores para mantener oculta la experiencia que solo se podía alcanzar en los gremios. Entre las obras que han llegado hasta nosotros cabe citar el *Cuaderno del s. XIII* (HONNECOURT, 2001) o el *Compendio de arquitectura* (SIMÓN GARCÍA, 1681), en el que se recoge la regla de Rodrigo Gil de Hontañón para dimensionar el espesor de los contrafuertes de un arco. También existe en español un curioso libro sobre bóvedas (TORIJA, 1661) y, desde luego, en el siglo XVIII comienzan a publicarse textos en que se recogen reglas geométricas semejantes (por ejemplo, BLONDEL, 1729). Abundantes estudios sobre estos temas se deben a HEYMAN (1972, 1982 y 1995).

Respecto a siglos previos cabe citar tres líneas originales de estudio que serán resueltas definitivamente en el XIX. La primera, planteada en GALILEO GALILEI (1638), se refiere a la *resistencia* de una viga en voladizo con carga en la punta, y fue resuelta recurriendo a un mecanismo hipotético de rotura y al establecimiento del equilibrio mediante la ley de la palanca. La segunda está relacionada con la *rigidez* de los muelles de reloj y de los *springing bodies* en general. Fue propuesta por Robert Hooke¹ al tratar sobre helioscopios, donde declaraba la ley «ut tensio sic vis» de proporcionalidad entre la extensión (*tensio*) y la fuerza (*vis*) aplicada a un cuerpo elástico. La tercera se trata de la *estabilidad* de los arcos y proviene también de una idea de Hooke de la misma época pero que solo fue descifrada treinta años después: «Ut pendet continuum flexile sic stabit contiguum rigidum inversum»². Esta idea de antifunicular de las cargas junto con la de Gregory («an arch of any form can only be in equilibrium if we can draw a catenary curve wich passes trough it», 1697)³, referente a la seguridad que se consigue siempre que el antifunicular de cargas esté contenido dentro del espesor de las dovelas, fue utilizada en POLENI (1748) para demostrar la estabilidad de la cúpula de San Pedro. A lo largo del siglo XIX las comprobaciones de resistencia y estabilidad serán subsumidas en la de rigidez del cuerpo elástico siguiendo las ideas de Navier, como se verá más adelante.

En el XVIII los Bernoulli y el propio Euler desarrollan una aproximación magistral al problema de las piezas monodimensionales utilizando la proporcionalidad entre momentos flectores y curvaturas. El primer planteamiento es de Santiago Bernoulli, y se prolonga en los análisis de Daniel y en el definitivo estudio de Euler de 1744, con su asombrosa capacidad para resolver, de una vez por todas, el problema de la elástica (TRUESDELL, 1960). También en 1725 Varignon da a conocer la comunicación que, sobre el principio de los trabajos virtuales, le había enviado Juan Bernoulli en una carta. Esta «escuela suiza» fracasa cuando intenta atacar cuerpos laminares, como las campanas, mediante una red de elementos monodimensionales. Como dice Truesdell: «It was the brilliant successes of the special theories that blocked the way to the general theory, for nothing is harder to surmount than a corpus of true but too special knowledge» (TRUESDELL, 1960). Así, cuando Chladni, en sus experimentos de vibración de placas, comprobó la falta de concordancia con la teoría de Euler, acertadamente concluyó que el problema provenía de una falta de representatividad de los modelos matemáticos y de la ignorancia existente en geometría de superficies. Ello dio lugar al famoso concurso de la Academia de Ciencias francesa con que arranca el siglo XIX, según se verá.

¹ R. HOOKE: *A Description of Helioscopes, and some other Instruments*, Londres, John Martyn, 1676. Véase también HOOKE, 1678.

² Es decir: «Al igual que cuelga la línea flexible, pero de forma invertida, permanecerá rígido el arco».

³ D. GREGORY: «Catenaria», *The Philosophical Transactions of the Royal Society*, 19 (231): 637-652, 1697.

Una idea de los problemas que se consideraban dignos de estudio en el siglo XVIII viene expresada por el ingeniero militar Henri Gautier en una obra de 1717 (HEYMAN, 1972). Son los siguientes:

1. Cómo determinar el espesor de los estribos de un puente.
2. Cómo fijar el tamaño de las pilas intermedias en función de la luz de los vanos.
3. Cómo fijar el espesor de las dovelas vecinas a la clave del arco.
4. Cómo dimensionar los muros de contención.

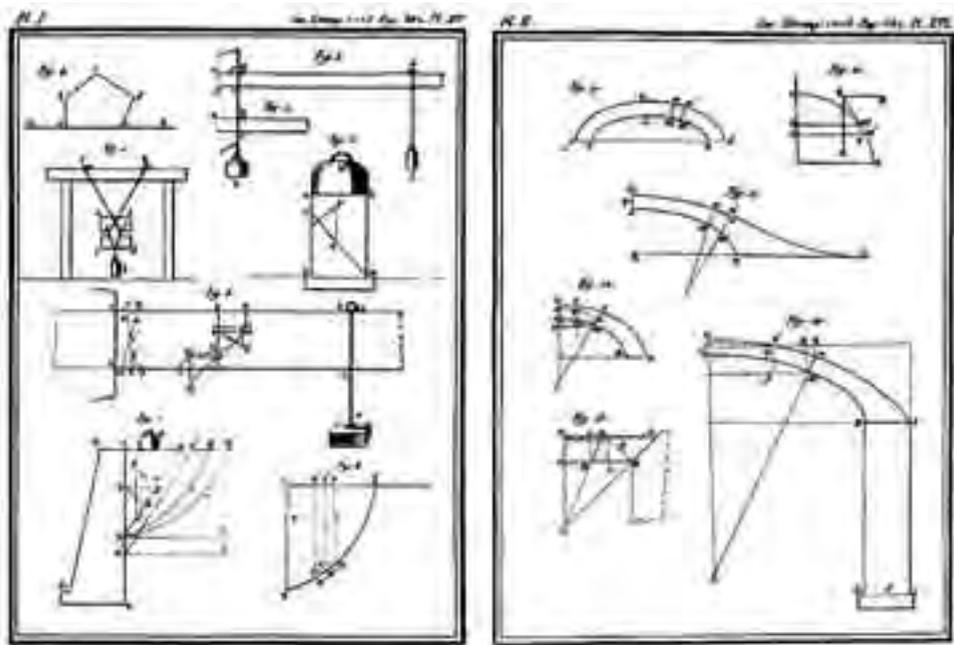
Este programa recoge los temas clásicos de la construcción: la superación de un vano, el soporte de una carga o la resistencia a un empuje, y está lógicamente limitado al arco, tipología indiscutida de los puentes de la época.

A lo largo de los siglos XVIII y XIX habrá un deseo continuo de analizar estos problemas siguiendo los pasos de La Hire, que en 1712 observó que los arcos se inestabilizaban por creación de fisuras, lo que obligaba a la línea de presiones a pasar a través de los «puntos» de contacto que restaban. Este esquema fue desarrollado por Couplet (1730), que habla de la rotura en cuatro piezas por formación de rótulas. La idea fue utilizada por Lesseur, Jacquier y Boscovich para, empleando el principio de los trabajos virtuales (LE SEUR, JACQUIER y BOSCOVICH, 1743; STRAUB, 1952) de Santiago Bernoulli, analizar la cúpula del Vaticano y proponer cadenas circunferenciales para su refuerzo. Puede decirse que el siglo XVII se cierra con la memoria presentada en 1773 por Coulomb, «Ingenieur du Roi», a la Academia de Ciencias: *Essai sur une application des règles de maximis & minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture* (HERMAN, 1972). Aunque la parte más célebre es la relativa al empuje de tierras (hasta el punto de que la revista inglesa *Geotechnique* decidió usar el *cul de lampe* que figura al final de la memoria como dibujo identificativo), son igualmente importantes el análisis de vigas, el cálculo de pilares y el estudio de bóvedas, lo que, según lo dicho antes, significa que, en 40 páginas, Coulomb contesta de forma rigurosa a los tres problemas típicos de la construcción.

En la fig. 8.4 se recogen dos láminas del *Essai*. En ella, la llamada *figura 1* se refiere a experimentos relativos a rotura por tracción, mientras que la 2 y la 3 muestran la diferencia de comportamiento de la sección de empotramiento de una barra dependiendo de si la carga que sostiene está alejada o es vecina al empotramiento (fallo de cohesión por flexión, comparado con rotura por cortante). La *figura 5* muestra la rotura de un pilar a compresión debida al fallo a lo largo de una línea *CM*, que se obtiene con la condición de mínimo de la carga aplicada. La fórmula se compara con los ensayos de Musschenbroek. SAINT-VENANT (1864) es crítico con esta hipótesis: «Il cherche même à donner, de l'écrasement d'un pilier, une explication fondée sur un effet de cette espèce; explication que nous ne croyon pas être véritable». La *figura 6* ha sido muy reproducida: con gran rigor y claridad de ideas, se establece que las fibras longitudinales de la viga, en una sección transversal, están sometidas a tracciones y compresiones cuyos volúmenes deben anularse, pues no hay esfuerzo axial; las componentes verticales *QM* (el esfuerzo cortante) deben igualar el peso, y además, «par les

principles de statique, l'on a encore la somme des momentum autour du point C de toutes les forces, soit de traction, soit de pression, égale au momentum des poids Y autour du même point». Obsérvese que el equilibrio estático está perfectamente descrito, pero Coulomb, a pesar de tener en la mano el concepto de tensión, no llega a identificar su trascendencia y finalmente, como Galileo, formula la hipótesis de giro alrededor de la fibra inferior, aunque, notando que la presión en h debería ser infinita al tratarse de un área nula, habla de subir la resultante de las compresiones a h^1 . Finalmente, la *figura 9* y siguientes de Coulomb, en especial la *14*, muestran el estudio de bóvedas suponiendo su rotura, como habían indicado La Hire y Bossut, pero clarificando la posición de la línea *Mm*. Como se indica en HEYMAN (1972), Coulomb no aporta aquí ideas nuevas, pero sí un rigor y una claridad mayores.

Realmente, la memoria de Coulomb representa el punto clave de la transición al XIX, tanto por tratarse de una obra precursora como por la cantidad de ideas que contiene. Ello no solamente se reconoce ahora, sino que este trabajo fue admirado desde su publicación; Poncelet y Saint-Venant lo alababan sin reservas, cosa que hacen también todos los autores que lo estudiaron, incluidos los españoles del siglo XIX. Sirvan de ejemplo las siguientes citas (SAINT-VEANT, 1864):



8.4. Essai sur une application des règles de maximis & minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture, por Charles-Augustin de Coulomb (presentación realizada en 1773), Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, vol. 7, París, 1776.

La mémoire de Coulomb comprend tant de choses dans peu de pages que, pendant plus de quarante ans, l'attention des ingénieurs et des savants ne s'était fixée sur aucune, ainsi que M. Poncelet l'a remarqué pour ce qui est relatif à la théorie des voûtes [...].

Où on se trouvent posées presque toutes les bases de la théorie de la stabilité des constructions.

II

LA EVOLUCIÓN EN EUROPA

El siglo XIX empieza con la rivalidad entre dos puntos de vista que tratan de explicar la estructura de los cuerpos: la «mecánica analítica» de Lagrange (con su planteamiento variacional y las hipótesis de enlaces entre elementos diferenciales del continuo) y la «mecánica física» de Laplace, que imagina que la materia está formada por partículas aisladas que se atraen o se repelen según una ley de fuerzas centrales semejantes a la patrocinada para la mecánica celeste por Newton o Boscovich.

En el primer cuarto de siglo se plantean los nuevos conceptos sobre elasticidad y cálculo de estructuras que van a ser desarrollados a lo largo de la centuria. Aunque los protagonistas principales son Navier, Poncelet, Poisson y, sobre todo, Cauchy, la primera batalla entre escuelas de pensamiento se produce a raíz del concurso de la Academia de Ciencias francesa para intentar obtener las ecuaciones que rigen el comportamiento dinámico de las placas y dar de esa forma soporte teórico a los experimentos que Chladni (1756-1827) había convertido en apasionantes *happenings* sociales.

Como es sabido, el premio, tras varios intentos, se entregó a Sophie Germain (BUCCIARELLI y DOWORSKY, 1980), quien propuso una generalización de los métodos de Euler para barras suponiendo que la energía elástica era proporcional al cuadrado de la suma de las curvaturas principales. Lo erróneo de su planteamiento variacional fue puesto de manifiesto por uno de los revisores, Lagrange, que dejó escrita la ecuación a la que conducía la hipótesis anterior, ecuación que, a pesar de lo equivocado de la hipótesis, es exacta por las razones expuestas por SAINT-VENANT (1864). Lagrange nunca volvió a ocuparse de este tema, pero el conocimiento de la solución impulsó un estudio de Poisson basado en la «mecánica física», forzando groseramente los límites del modelo para llegar a la conclusión deseada. En este momento Navier plantea sus trabajos clave. En primer lugar, la *Memoria sobre la flexión de planos elásticos*, leída ante la Academia en 1820, así como la obtención de las *Ecuaciones generales de equilibrio de los cuerpos elásticos*, en una memoria de 1821 (SAINT-VENANT, 1864; TODHUNTER y PEARSON, 1960). Ante la reconsideración de ideas provocada por Navier, tanto Poisson como Cauchy reaccionaron con sus propias teorías, y en particular este último a partir de 1822 generalizó los resultados poniendo la elasticidad en una firme base deductiva e introduciendo el concepto de tensión que ha perdurado desde entonces.

Aunque Navier es determinante en el desarrollo de la teoría de la elasticidad, su gran influencia en España se debe a sus *Lecciones de mecánica aplicada a las cons-*

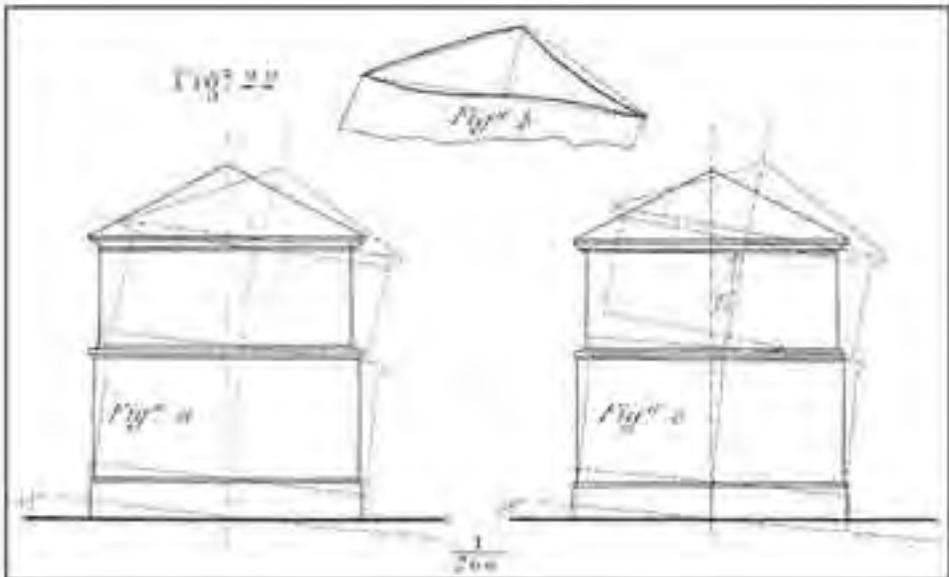
trucciones y las máquinas. En ella afronta la resistencia de materiales de una forma que será seguida por los ingenieros españoles hasta finales del siglo XIX, cuando empiezan a asimilarse los logros de la escuela alemana. Navier comprende la necesidad de recurrir a los principios de compatibilidad y a la ley de comportamiento para resolver en régimen elástico los problemas hiperestáticos y los aplica a la resolución de los arcos, con lo que rompe con la tradición de La Hire y Coulomb, orientados al equilibrio en estado de rotura. Introduce, de forma congruente, el concepto de seguridad basándose en la tensión máxima en la estructura (Poncelet y Saint-Venant preferirán la idea de deformación máxima), y con ello cambia el enfoque en resistencia que había arrancado con Galileo al de flexibilidad y limitación de las flechas. Plantea además los dos métodos que conocemos en la actualidad: el de flexibilidad y el de rigidez. Este último, generador de enormes sistemas de ecuaciones, reaparecerá en la obra de Clebsch y fue dejado de lado hasta la segunda mitad del siglo XX, cuando los computadores permitieron la resolución de ecuaciones algebraicas lineales con comodidad.

El primer enfoque de Cauchy se basaba en la relación lineal entre los tensores de tensión y deformación, así como en la concordancia de las direcciones principales de ambos, aunque en desarrollos posteriores recurrió a los métodos de la «mecánica física». No obstante, fue en el segundo cuarto de siglo cuando, a través de sus *Exercices de mathématiques* (1827) se divulgaron las ideas de Cauchy, así como las de Poisson (1828). También se produjo la gran alternativa de Green al admitir un potencial de las deformaciones (1839), y en 1852 se publicó el primer tratado sobre elasticidad siguiendo las lecciones de Lamé (1870) en la Facultad de Ciencias de París (LAMÉ, 1852). Tanto Lamé como Clapeyron, durante sus primeros años de profesionales, habían acudido a San Petersburgo, llamados por Betancourt, para calcular la cúpula de San Isaac y dar clase en el Instituto de Vías de Comunicación.

En esta época comenzó la evolución de Poncelet desde la geometría proyectiva hacia la mecánica del continuo, y en su *Cours de mécanique industrielle, fait aux artistes et ouvriers messins* (1827) aparecía por primera vez la representación de una curva de tracción-alargamiento, como premonición del uso de la de tensión-deformación (TODHUNTER y PEARSON, 1960). La *Mecánica aplicada* de Poncelet fue texto, en versión original, en la Escuela de Caminos de Madrid. Por su parte, Barré de Saint-Venant (1797-1886) y J. A. Bresse (1822-1883) escribieron las mejores páginas sobre elasticidad y resistencia de materiales mientras eran profesores en la École des Ponts et Chaussées. La obra clásica del primero fue la relativa a la torsión, donde introducía su método semiinverso, en el que demostraba el ingenio y la maestría matemática que lo pondría a la cabeza de los investigadores de su tiempo, mientras que sus ediciones de NAVIER (1825) y CLEBSCH (1883), llenas de comentarios profundos, contribuirían a hacer todavía más populares estos libros. Tanto la obra de BRESSE (1859) como la del general MORIN (1857), amigo y admirador de Poncelet, tendrían una profunda influencia en España, donde llegaron a ser justamente apreciadas. En su *Résistance*, Bresse se queja: «On peut regretter qu'elle [la elasticidad] ne forme point la base de notre enseignement».

A partir de la segunda mitad del siglo la preeminencia de la escuela francesa cede ante las contribuciones de autores de otros países, entre los que es imposible dejar de citar a Clebsch en Alemania, con su magistral obra, y Rankine o Maxwell en el Reino Unido (CHARLTON, 1982), este último con contribuciones geniales sobre el cálculo de estructuras formadas por barras que anticipan estudios posteriores de MÖHR (1868) y CULMANN (1875).

Si los métodos gráficos de Culmann son un desarrollo lógico de la geometría proyectiva de Monge y Poncelet, su nivel teórico «había asustado [...] a muchos ingenieros que habían desistido de estudiarla» (MÖHR, 1868), por lo que Möhr defendía el uso de «la vieja geometría» y del principio de los trabajos virtuales. Ambos puntos de vista serían seguidos por los tratadistas españoles, que tardaron cierto tiempo en asimilar los métodos de Castigliano, expuestos en una obra de la misma época (CASTIGLIANO, 1879). No es hasta el último cuarto de siglo cuando se escriben los libros definitivos del cálculo de estructuras, gracias a Müller-Breslau, quien en un par de años publica dos obras que tendrán un tremendo impacto entre los ingenieros españoles: los *Nuevos métodos* (MÜLLER, 1886), donde defiende a Castigliano, y la *Estática gráfica* (MÜLLER, 1887), que es realmente una enciclopedia sobre todos los métodos, gráficos o no, disponibles. En este final de siglo son numerosas las aportaciones importantes que tendrán repercusión en el futuro, como la *Teoría del sonido* de Lord Rayleigh (STRUTT, 1877), donde todavía se puede leer con aprovechamiento el enfoque de la dinámica de estructuras, o el tratado de LOVE (1892).



8.5. Estudio sobre la resistencia y estabilidad de los edificios sometidos a huracanes y terremotos, obra de Rafael Cerero (1890), general de brigada comandante general subinspector de Ingenieros del Archipiélago Filipino.

La escuela francesa influye en España principalmente a través de dos tratados: uno de SARRAU (1889) y otro de POINCARÉ (1892). Ambos serán utilizados por Echegaray en la Facultad de Ciencias. El primero es un breve curso en la Polytechnique que utiliza sistemáticamente la palabra *tensión* para designar tanto las compresiones como las tracciones, mientras que el segundo es un libro recopilatorio que arranca con las ideas de Green.

En los primeros años del siglo XX también influyen en España las investigaciones de VOLTERRA (1907) y las de los hermanos COSSERAT (1909), que tanta influencia tendrán en el XX, y comienzan a extenderse las primeras aplicaciones del método de Rayleigh-Ritz, llevadas a cabo por un joven TIMOSHENKO (1913), para los problemas dinámicos y de inestabilidad. En esta segunda mitad del siglo XIX se sientan las bases de la respuesta sísmica de estructuras con el tratado de MALLET (1862), la aparición de los primeros sismógrafos debidos a Milne (1880) y la organización de una red de observatorios con estos sismógrafos tipificados (1895), entre los que estaría el Observatorio de la Marina en San Fernando. De esta época es una interesantísima contribución española del general CERERO (1890) tras su estancia en Filipinas (fig. 8.5).

III

EL CASO ESPAÑOL

Es imposible evitar la sensación de melancolía cuando se estudia la posición española en la evolución de la mecánica de medios continuos y la teoría de estructuras en el siglo XIX. Aunque se dispone de centros docentes punteros y de personas de calidad intelectual, los continuos conflictos bélicos e ideológicos hacen que, como en el telar de Penélope, constantemente haya que ir reconstruyendo lo previamente destruido. Además, las élites se ven obligadas a participar en el día a día político, administrativo y profesional, por lo que no tienen tiempo de publicar aportaciones originales en su área de especialidad, e incluso las que podrían serlo desaparecen en el olvido por falta de participación en la discusión internacional activa, cuya experiencia, paradójicamente, era bien conocida y aplicada, como atestiguan, por ejemplo, los fondos de la Biblioteca de la Escuela de Caminos de Madrid o los artículos en la *Revista de Obras Públicas*.

A ello habría que añadir la ausencia de una Academia de Ciencias, que había sido el dinamizador de la investigación en otros países, y de la propia Facultad de Ciencias hasta una época tardía. En efecto, aunque la resistencia de materiales y el cálculo de estructuras responden a necesidades de tipo profesional, la elasticidad surge inicialmente como rama de la física matemática:

La Physique mathématique [...] est une création toute moderne qui [...] ne comprend en réalité que trois chapitres [...]: la théorie de l'électricité [...]; la théorie analytique de la chaleur; enfin la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides. Le dernier est le plus difficile, le moins complet; il est aussi le plus utile, à une époque où l'on veut

apprécier l'importance d'une théorie mathématique par les résultats qu'elle peut fournir immédiatement à la pratique industrielle. (LAMÉ, 1852).

En cualquier caso, la etapa inicial tiene su origen en la creación de las escuelas militares en el siglo XVIII y en la reacción ante el tipo de enseñanza impartida en la Real Academia de Bellas Artes o en la ignorancia de los constructores que motivaron la filípica de BETANCOURT y LÓPEZ DE PEÑALVER (1791):

En España no ha habido donde aprender, no solo cómo se clava una estaca para fundar un puente, pero ni aun cómo se construye una pared. En la Academia de las Bellas Artes no se enseña más que el ornato de la arquitectura. El arquitecto se forma copiando unas cuantas columnas y, agregándose a la casa de alguno de la profesión, donde suele ver y oír cuatro cosas de rutina. Y con esta educación y estos principios y examinado por otros que tienen los mismos, queda aprobado y se le da la patente para cometer cuantos desaciertos le ocurran en edificios, puentes, caminos y canales.

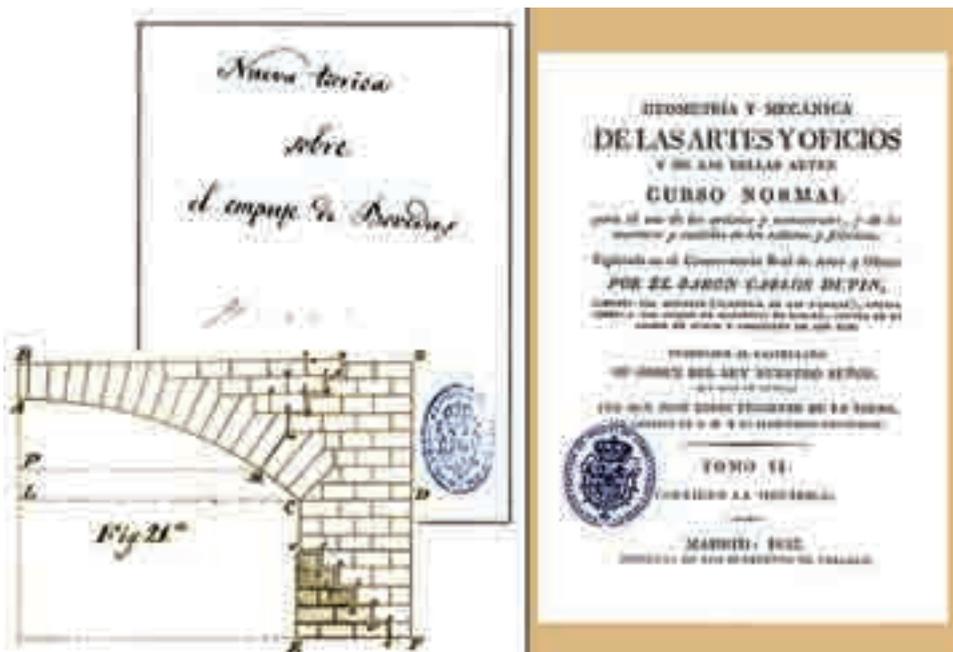
Una muestra del tipo de literatura que se hacía es la obra de BAILS (1796) («grafómano mediocre», como le hubiese llamado Marañón), de extensión descomunal y compuesta, según reconocía el propio autor, como condensación de todo el material escrito que estuvo a su alcance, iniciando una costumbre que un siglo después criticaría Rey Pastor al decir que en España «matemático se llama a quien de dos manuales sabe sacar un tercero» (REY PASTOR, 1915).

El siglo XIX español está absolutamente influido por la cultura francesa, que llega a través de los sucesivos grupos de becarios que, arrancando con Betancourt, Lanz y López Peñalver, se prolongan posteriormente con los alumnos de la recién creada Escuela de Caminos, como Antonio Gutiérrez, que va a la École Polytechnique, o los que acuden a la también parisiense École Centrale des Arts et Manufactures, modelo para la ingeniería industrial, como Joaquín Alfonso (pensionado en 1834-1838), Cipriano S. Montesino o Juan Cortázar.

Es curioso comprobar que en la famosa polémica entre Lanz y Betancourt a propósito de quién debe sustituir como profesor a aquel en su ausencia de la Escuela de Caminos, los dos recomendados de Lanz, Joaquín Monasterio, de la promoción de 1804, y José Azas, de la siguiente, serán, en el futuro, los encargados de explicar las asignaturas relacionadas con nuestro tema. Así, Monasterio se ocupará de la asignatura denominada *Empujes de Tierra y Bóvedas* del primer curso, mientras que Azas será el encargado de la llamada *Mecánica Aplicada* en el intento de restauración de 1822 y en la definitiva Escuela de 1834 (de ella será director brevemente en la segunda mitad de 1856), donde prácticamente monopolizará la asignatura hasta 1848, año en que, tras la protesta estudiantil capitaneada por Sagasta, se producirá la dimisión del director Subercase y con él la del claustro de profesores, Azas entre ellos. El sustituto provisional será Santiago Bausá (1823-1884), hasta que en 1853 se ocupará de ella Eduardo Saavedra, al que seguirán los hermanos Echegaray.

En el primer cuarto del siglo hay pocas publicaciones notables. Existe una traducción (1805) del libro de Prony (1802) sobre empuje de tierras que será utilizado en

el primer curso. Prony expone la teoría de Coulomb, cambiando como variable a determinar una longitud por el ángulo de la cuña de empuje, lo que ha sido costumbre tipificada desde entonces. *Nueva teórica sobre el empuje de bóvedas* (¿1808?) es una curiosísima obra manuscrita de Joaquín Monasterio. Figura en el catálogo de la Escuela de Caminos y ha llegado a nosotros a través de Saavedra. Como dice SÁENZ RIDRUEJO (2006), se trata de una obra que merecería un estudio especial⁴. En ella se busca el fallo crítico del arco aplicando la teoría de permutaciones a las diferentes formas de rotura mediante un planteamiento original que hace lamentar el aislamiento de su autor y la consiguiente falta de difusión, limitada incluso dentro de nuestro propio país. Según KURRER (2008), la obra fue redescubierta por Santiago Huerta en 1991 y, posteriormente, analizada⁵.



8.6. Dos publicaciones notables: 1) J. Monasterio: *Nueva Teórica sobre el empuje de la bóvedas*, Madrid, 1808; 2) Ch. Dupin: *Geometría y mecánica de las artes y oficios*, Madrid, 1835 (traducido del francés por Juan López Peñalver de la Torre, 1825, para su uso en el Real Conservatorio de Artes, Madrid).

⁴ En el momento de redactar este capítulo llega a nuestro conocimiento que el profesor Samartín Quiroga está llevando a acabo el análisis del manuscrito de Monasterio.

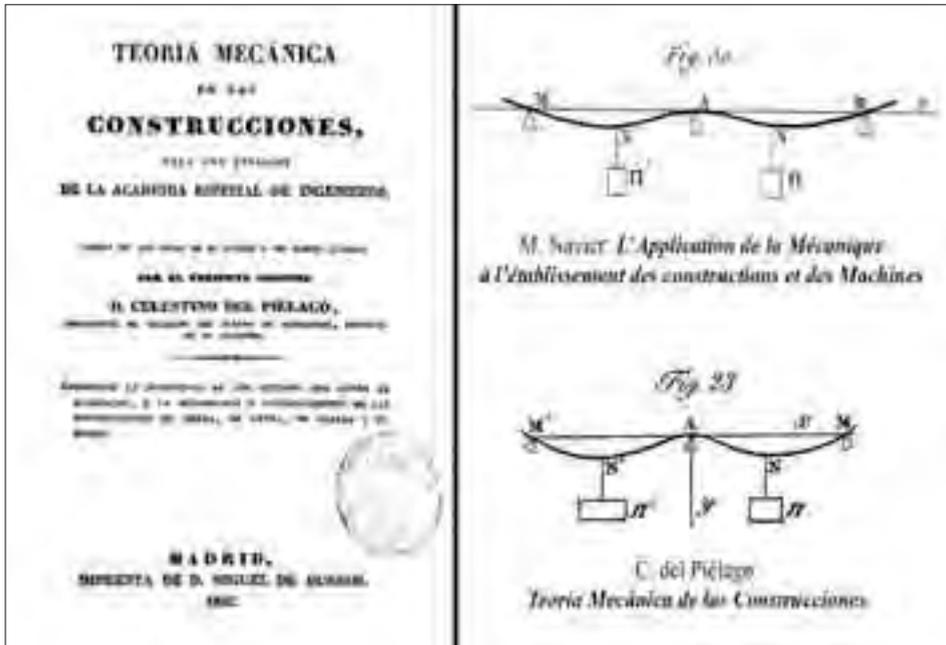
⁵ S. HUERTA y F. FOCE: «Vault theory in Spain between XVIIIth and XIXth century: Monasterio's unpublished manuscript "Nueva teórica de las bóvedas"», en *First International Congress on Construction History*, Madrid, 2003.

En la segunda mitad del siglo repercuten en España los hallazgos llevados a cabo en Francia en la época anterior. Como obra de transición es de notar que López Peñalver (hijo) realiza en 1830 una traducción de la Geometría y Mecánica que Dupin explicaba en el Conservatoire d'Arts et Métiers y en cuyo segundo tomo, lección XIV, aparece el estudio «De las presiones, de las tensiones y de la elasticidad en general», así como el tratamiento de vigas a flexión. Se trata de una obra que había sido editada por Dupin en tres volúmenes unos diez años antes (1825), como resultado de su experiencia en las clases gratuitas impartidas en el Conservatoire, y, por tanto, no incluye los avances fundamentales de Navier, Cauchy o Poisson. Su traducción coincide con dos tránsitos a mejor vida. El primero de ellos fue el de Juan López Peñalver (padre), ya que el segundo volumen se publicó el mismo año de su muerte (1835). López Peñalver constituyó el nexo de conexión con el esfuerzo ilustrado en el siglo XVIII, fue capaz de sobrevivir a guerras y revoluciones, mantuvo siempre su prestigio científico y recibió responsabilidades tanto durante la Administración josefina (director general del cuerpo de Ingenieros Civiles) como durante el reinado de Fernando VII. Por ejemplo, cuando el ministro López Ballesteros consiguió en 1824 la creación del Conservatorio de Artes y Oficios, inicialmente situado en la calle del Turco, López Peñalver fue nombrado director y, para uso de sus alumnos, copiando literalmente el esquema francés, encargó a su hijo Juan López de Peñalver y de La Torre la traducción de la obra «De orden del Rey nuestro Señor», como indica el tomo I, publicado en 1830.

El segundo tránsito al que se ha aludido es el de Fernando VII, fallecido en 1833, lo que se refleja en la portada del tomo II, donde se indica que «está en gloria». Cabe recordar que Dupin, ingeniero naval y *polytechnicien*, llegó a ser ministro de la Marina en 1834, lo que refleja el compromiso político de los «intelectuales», ejemplo que será también asumido por los técnicos españoles.

Uno de los más ilustres de estos últimos fue Celestino del Piélagos y Fernández de Castro (1792-1880), que terminó siendo general de Ingenieros, director general de Obras Públicas con el ministro Moyano y primer poseedor de la medalla número 13 de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, de la que fue fundador electo el 3 de abril de 1847 (también fue académico de la de Nobles Artes de San Fernando).

Diez años antes, en 1837, siendo comandante y profesor de la Academia Especial de Ingenieros, publicó la *Teoría mecánica de las construcciones* (PIÉLAGOS, 1839), que, según indica en portada y reafirma en el prólogo, «está sacada de las obras de Navier y de varios autores». Efectivamente, el futuro académico en la sección de «Ciencias exactas», traduce textos y calca figuras de las obras realizadas en los años veinte por Navier, a quien profesa una admiración incondicional y reconoce como punto de inflexión. «Sin volver los ojos muy lejos de nuestro tiempo [...], sin contar con la teoría de Rondelet que da lástima ver inserta en su apreciable obra del arte de construir», dice en el prólogo, donde aclara que «las más de las veces traduzco», aunque también asegura que omite, simplifica y adapta a unidades españolas cuando lo cree oportuno.



8.7. Débito a Claude Louis Navier: Celestino del PIÉLAGO, Teoría Mecánica de las construcciones, Madrid, 1837.

Es muy curiosa la justificación que da el comité de aceptación de la Escuela Militar, pues, según ellos, todos los ingenieros trabajaban en todos los temas con independencia de su especialidad, por lo que, para cubrir esa amplia demanda, era necesario traducir la obra.

El servicio público entre nosotros relativamente a los objetos de construcciones está subdividido en menor número de manos [que en Francia y otros pueblos]; de donde resulta que el arquitecto ha tenido y tiene muchas veces que ocuparse de trabajos de caminos o puentes; el ingeniero militar, de proyectos de arquitectura civil; el hidráulico, en obras militares; y todos, en objetos muy distantes del fin para el que debieron educarse. De esto resulta que un libro escrito fuera de España difícilmente se acomodará a nuestras necesidades, y que es muy digno de aprecio el trabajo que el Autor de esta obra se ha tomado de ordenarla convenientemente, reunir en ellas el mayor número de doctrinas útiles y entresacar con este objeto de diversos tratados lo más importante a la ciencia del ingeniero, cualquiera que sea la denominación bajo la que se le considere. (PIÉLAGO, 1839).

Quizá esta finalidad no se cumpliera estrictamente, pues en algunos lugares, como la Escuela de Caminos, se prefería trabajar con las versiones originales, y, así, en 1839 Cerdá escribe a su hermano una carta donde pondera lo exigente que era la Escuela (SÁENZ RIDUEJO, 2006) e indica la dificultad añadida de que ningún texto de los que deben estudiar esté en español. También, años después, en sus *Recuerdos*, ECHEGARAY (1917, t. II, p. 74) dirá:

dentro de la Escuela, siempre obras francesas, no las traducidas, sino las originales; los cálculos de Navier y Duhamel, la Mecánica de Poisson, la Descriptiva de Leroy, el corte de piedras de Adhemar, la *Mecánica aplicada* de Poncelet [... añadiendo:] bien es verdad que me refiero a mis tiempos, a los años 48 al 54; después se han ido escribiendo obras españolas de mérito y de importancia. ¡No se olvide que estos son mis recuerdos!

Desde un punto de vista de lenguaje, puesto que solo trata elementos monodimensionales, Piélagos no tiene necesidad más que de las resultantes de fuerzas y momentos en las secciones de las barras. Y así, en el título del capítulo II se lee «Resistencia de los cuerpos a un *esfuerzo* dirigido en el sentido de su longitud que tiende a estirarles y romperles», y acto seguido habla de la «fuerza Q»; es decir, claramente la primera obra en español, que sirvió de texto en un centro público, dedicada a la resistencia de materiales y al cálculo de estructuras utiliza el término *esfuerzo*, que se mantiene actualmente en la mayoría de los ambientes técnicos para designar a las fuerzas internas o resultantes de tensiones. Según atestigua la *Gaceta*, la obra era texto en la Escuela de Arquitectura para la asignatura de Mecánica Aplicada incluso en 1861.

Otra de las publicaciones dignas de mención es debida a Manuel María de Azofra (1813-1879), arquitecto y profesor de Matemáticas en Valencia y de Mecánica Aplicada en la Escuela de Arquitectura de Madrid. En 1855 formó parte del cuadro inicial de profesores del Real Instituto Industrial, de donde pasó a ser director general de Agricultura, Industria y Comercio con el ministro de Fomento Francisco Luxán, que tenía como director general de Obras Públicas al *centralien* Cipriano S. Montesino. Al crearse la carrera de Ingeniería Industrial convalidó en ella su título y fue miembro y presidente de la primera Asociación de Ingenieros Industriales. En la Academia de Ciencias, sección de Ciencias Exactas, fue el tercer poseedor de la medalla número 14 (1863), en la que le precedieron el ingeniero de caminos García Otero y el *centralien* Juan de Cortázar. Su *Curso industrial* (AZOFRA, 1838) recoge las clases patrocinadas por la Real Sociedad Económica de Valencia.

Es una obra instructiva por varios motivos. En particular, se mueve por el mismo criterio que el Conservatorio: la extensión desinteresada del conocimiento. Al respecto son interesantes las palabras del autor:

solo pediré se me permita recordar que yo la compuse [esta obra] no en tiempos tranquilos y bonancibles, sino en los turbulentos y desgraciados, en los que ni estímulo, ni recompensa, ni honor de su publicación esperaba, en que solo anhelaba por premio de mis desvelos proporcionar alguna utilidad a las clases laboriosas, premio, a la verdad, el más linsogero y el que más cumplidamente pueda llenar mi corazón.

Es curioso observar en el discurso de entrada al libro las continuas alusiones a la separación entre lo que se enseña, «la ciencia de los cuerpos», y «la ciencia de Dios, teología, profecía, evangelio, religión, etc.», y las confesiones tales como «solo Dios es sabio», que parecen dedicadas a calmar las posibles sospechas de los poderes religiosos y ponen de manifiesto el opresivo ambiente en el que se vivía entonces.

La lección 28 (y última) de mecánica se titula «De la solidez», concepto que, según se deduce luego, se refiere a la resistencia de los cuerpos. Habla de fórmulas elemen-

tales «de tracción, compresión, flexión y torsión» en barras, pero lo más interesante son las remisiones a las obras de «Mariotte, La Hire, Parent, Varignon, Buffon, Coulomb, Girard, Perronet, Rondelet, Genieys, Gauthseys, Dubuat, Boistard, *D. Jorge Juan*, Bossut, Buchanan, Dupin, Navier, *Vallejo*, Poncelet y otros»; más adelante se refiere a resultados de Tredgold. Incluye una cita extensa de Coulomb al tratar sobre el empuje de tierras y «el prisma de mayor empuje», y hace referencia también a Prony. De nuevo menciona al «infatigable Coulomb» al determinar la rotura de las bóvedas y a Navier para «fijar los espesores de los machones o pies derechos». Los desarrollos son someros, como corresponde a su intención:

llamar la atención sobre su importancia, indicar los principios generales en que se fundan, y citar las obras especiales que tratan con mayor extensión, claridad y exactitud, a mi parecer, cada asunto particular.

De nuevo se está ante un hombre perfectamente informado, capaz de identificar y de seleccionar las buenas ideas, pero arrastrado «por los tiempos turbulentos y desgraciados» a una actividad distinta que le impedirá producir resultados originales.

Por otro lado, los conceptos de cuerpo flexible se incluyen también como apartados en obras dedicadas a la mecánica, como la del coronel de infantería Fernando GARCÍA SAN PEDRO (1840) (compuesta para la Academia Especial de Ingenieros del Ejército) o el *Tratado de mecánica* de Poisson, traducido por Jerónimo del Campo (1802-1861) (POISSON, 1845), que, según la *Gaceta*, eran textos obligados en las Escuelas Industriales y de Arquitectura en 1861.

Del Campo era profesor en la Escuela de Caminos, astrónomo y académico fundacional de Ciencias en la sección de Ciencias Exactas con la primera medalla número 20. La obra citada traduce la segunda edición de Poisson, escrita en 1833, es decir, de nuevo un libro interesante, pero anticuado en relación con lo que en aquel momento estaba pasando en Europa, donde ya se habían publicado los *Exercices* de Cauchy (1830) y donde Green en 1839 había revolucionado la forma de afrontar el planteamiento de la elasticidad desde un enfoque energético. Es interesante citar que la autorización para publicar el libro está dada por el director general de Obras Públicas Pedro Miranda, que también habría de ser académico de Ciencias, cuya intervención en el impulso dado a la construcción de puentes «colgados» en España está magistralmente expuesta en *Arquitectura e ingeniería del hierro en España* (NAVASCUÉS, 2007).

En el tercer cuarto de siglo el impulso general a las obras públicas implica la multiplicación de libros destinados tanto a la instrucción como a la práctica. Generalmente se trata de publicaciones dedicadas a la resistencia de materiales y el cálculo de estructuras, pues la elasticidad se consideraba una parte de la física matemática, y su estudio, incluso en Francia, donde ya vimos las quejas de Lamé y Bresse, no se impulsaba en las Escuelas de Ingenieros. Por otro lado, se editan también numerosos manuales de aplicación para los proyectistas o constructores, en algunos de los cuales se puede sondear el nivel de la tecnología utilizada.

En uno de estos manuales, el curiosísimo de Marcial de la Cámara, se traslucen «los males de la patria» (CÁMARA, 1871). En la introducción de la cuarta edición dice su autor:

El anuncio en nuestro desgraciado país de la CUARTA EDICIÓN de una obra, y de una obra de consulta de alguna importancia, es un acontecimiento; y lo es doblemente en las obras que no halagan las pasiones, que se exponen sencillamente y sin la menor protección oficial; antes por el contrario contra el veto de pobres intrigas, llegando hasta el extremo de conminar...

Además de las quejas sobre la contrapropaganda que debía soportar su autor, llaman la atención en esta obra diferentes aspectos: primero, el lugar de publicación, Valladolid, que muestra la difusión del conocimiento en todo el país; además, la amplitud del conjunto (su subtítulo es *Tratado teórico-práctico de agrimensura y arquitectura legal*).

En la parte «científica», además del catálogo con propiedades de materiales se incluye un resumen de resistencia de materiales que viene a ser el 60 % de la sección y el 30 % del total, si se excluye la «Sección bibliográfica», de la que luego se hablará. En aquella los valores resultantes de las tensiones internas en cada rebanada son llamadas «esfuerzos» y se distingue la «Presión», por lo que hoy llamamos *compresión*, la «Tensión o Extensión», por lo que ahora se llama *tracción*, y la «Flexión y Torsión», con los mismos nombres actuales. El esfuerzo cortante brilla por su ausencia. Al final se cita a Poncelet, Navier, Rennie y otros, así como un breve resumen sobre el tratamiento de los muros de contención donde la referencia mencionada es nada menos que Vauban. Finalmente es interesantísima la «Sección bibliográfica», donde se reseñan tanto revistas como libros en curso de publicación o «especiales» y donde se dedica la misma extensión a las revistas francesas que a las españolas.

De otro nivel mucho más elevado y ambicioso es el *Manual del ingeniero* del teniente coronel Nicolás VALDÉS (1859), quien en 1865 llegó a ser académico correspondiente de la RACEFN. La obra está dedicada a Zarco del Valle (1758-1866), cuyas múltiples condecoraciones y títulos se resumen en la dedicatoria. Entre estos cabe citar los de teniente general e ingeniero general de los Ejércitos. Destaca igualmente su nombramiento como académico fundador de la RACEFN en 1847 y primer presidente de la misma en 1851.

Es sorprendente que la obra de Valdés fuese publicada en París y el prólogo esté redactado en francés y firmado en un lugar de Alemania. El libro contiene aspectos de resistencia de materiales, pero no se limita a temas relacionados con la construcción y la ingeniería civil, sino que abarca también cuestiones de ingeniería mecánica, entre otros relativos a las máquinas herramientas y los mecanismos. Como el autor dice en su prólogo de 1870, la segunda edición muestra un tremendo esfuerzo de readaptación y puesta al día, y en su tiempo fue apreciada en todo su valor. Eduardo Saavedra, por ejemplo, alabó la documentación sobre materiales incluida. Además, la obra fue texto obligado, como consta en la *Gaceta* de 1861⁶, para las Escuelas de Ingenieros

⁶ MINISTERIO DE GRACIA Y JUSTICIA: *Colección legislativa de España*, t. 86, 2.º semestre de 1861, pp. 371-375.

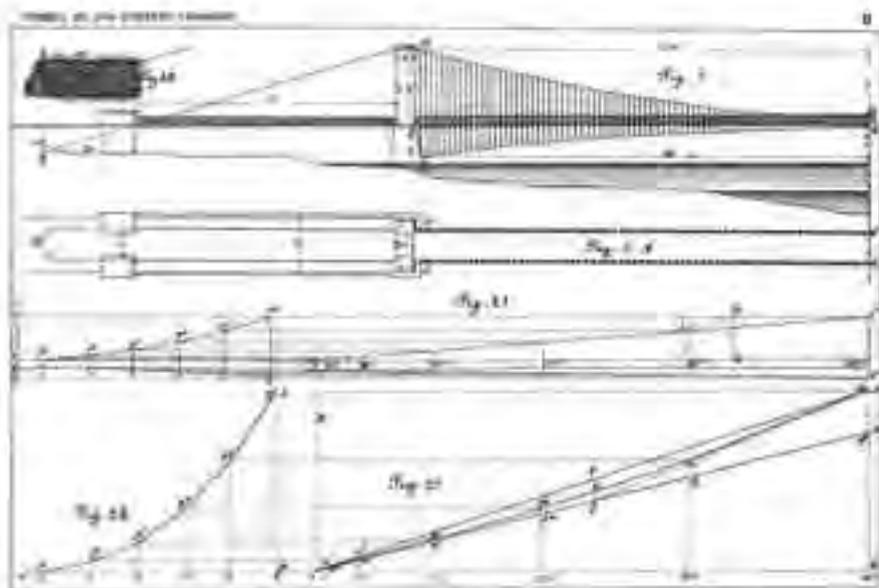
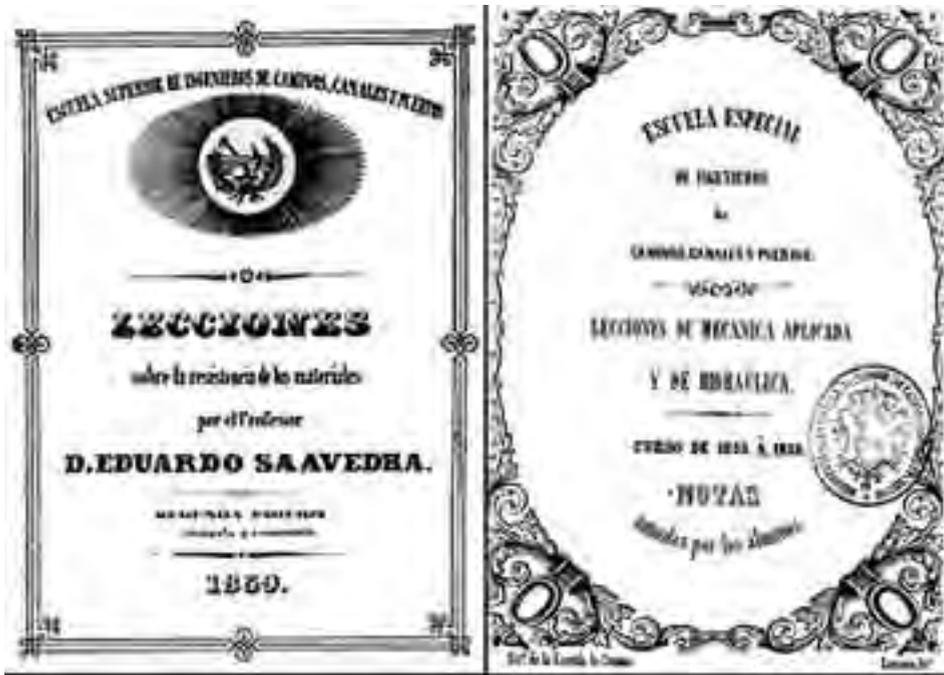
Industriales nada menos que en cinco asignaturas (Estereotomía, Mecánica Industrial, Construcciones Industriales, Máquinas de Vapor y Construcción de Máquinas), lo que da idea de la amplitud del empeño. También fue utilizada en la Escuela de Arquitectura (en las asignaturas de Estereotomía y Construcción).

Respecto a las obras de teoría de este período, la más celebrada ha sido la manuscrita por Eduardo Saavedra (1829-1912), personalidad extraordinaria y respetadísima en su tiempo en todos los ambientes culturales y científicos, como se describe en una magnífica monografía (MAÑAS, 1983)⁷. Encargado de la asignatura de Mecánica Aplicada desde el curso 1853-1854 hasta el 1861-1862, sus predecesores Azas y Bausá, que, como se ha dicho, acabarían dirigiendo la Escuela de Caminos (Azas en 1856 y Bausá en 1880), no dejaron ninguna aportación escrita a la materia. Quizá por contraste, brillan más las contribuciones del joven ingeniero, que en todas ellas demuestra estar al corriente de la cultura estructural de su época, tanto en sus textos docentes como en sus traducciones y artículos.

MAÑAS (1983) incluye una bibliografía completa de Saavedra, de la que, en relación con nuestro tema, cabe destacar las *Lecciones sobre la resistencia de los materiales* (1859) y la *Teoría de puentes colgados* (1856), además de la traducción con comentarios de la *Instrucción sobre la estabilidad de las construcciones* de M. Michon (1860). Todas ellas, complementadas por el *Résumé* de Navier, formaban el conjunto de las obras recomendadas a los alumnos de la asignatura, según indica el propio autor en un artículo publicado en 1857 en la *Revista de Obras Públicas*, lo que hace suponer (aunque, como se decía más arriba, Echegaray habla de la *Mecánica* de Poncelet) que la obra de Navier era el texto impuesto por los profesores anteriores.

Entre sus artículos no pueden dejar de citarse el dedicado al «Viaducto de Crumlin» en la *ROP* (1857), pues en él aparece una de las primeras aplicaciones del sistema Warren-Kennard, o la «Note sur la théorie des voûtes de M. Yvon Villarceau et sur les applications de cette théorie en Espagne» (1868), presentada a la asociación de antiguos alumnos de la École Centrale; el primero porque reconoce la importancia de la tipología Warren (a la que Carlos Browning dedicó algo después un estudio muy completo en la *ROP* de 1859) como estructura fiable, y el segundo por la perspicacia al detectar que la obra de Villarceau era el método definitivo de ataque a los problemas de bóvedas. El prestigio técnico alcanzado por Saavedra queda reflejado en el respeto con que eran acogidas sus opiniones y en las peticiones de redacción de prólogos para obras de la especialidad, como sucedió, por ejemplo, con la de MARVÁ (1902), de la que se hablará más adelante.

⁷ Tras Echegaray, que pasó a ostentar la medalla número 15, Saavedra recibió la número 6 de la RACEFN (1868) en la sección de Ciencias Exactas. Saavedra era el número 1 de la promoción de 1851, de modo que cuando en 1853 se incorporó como profesor a la Escuela de Caminos apenas disponía de experiencia profesional.



8.8. Tres documentos relativos a cursos de Eduardo Saavedra en la Escuela Especial de Caminos: 1) portada del texto manuscrito y litografiado Lecciones de resistencia de materiales, 1859; 2) portada de las notas de sus clases, Lecciones de Mecánica Aplicada y de Hidráulica, redactadas por varios alumnos de la promoción de 1859; y 3) lámina de Teoría de los puentes colgados, Madrid, Imprenta Nacional, 1864 (2.ª ed.).

Lecciones sobre la resistencia de los materiales es una publicación litografiada, con un planteamiento tipo Navier, en la que, salvo un capítulo inicial sobre el concepto de fuerzas elásticas, el conjunto se dedica al estudio de barras sometidas a esfuerzos longitudinales y de flexión, incluyendo problemas hiperestáticos, de pandeo, sollicitación compuesta y piezas curvas, así como esfuerzos de torsión. Aunque la aproximación es teórica, existen referencias a la obra de Morin, que fue muy popular tanto en Francia como en España, y un interesante apéndice sobre el aparato de Chevandier y Wertheim para ensayos de resistencia, autores que eran conocidos sobre todo por su obra de 1848 acerca de las propiedades mecánicas de la madera.

Las notas no poseen planteamientos originales, pero se observa un enfoque unificado, una asimilación y selección de temas y una claridad que hacen que esta obra sea incomparable con las traducciones desorganizadas de épocas anteriores. Quizá por ello algunos la consideran como la primera obra «española» sobre resistencia de materiales. No obstante, es imposible evitar la comparación con las publicaciones de Bresse (que en la misma época se ocupaba de la asignatura en Ponts et Chaussées), que cuesta imaginar pasasen desapercibidas a Saavedra. Se dispone también de apuntes de sus clases, *Lecciones de Mecánica Aplicada y de Hidráulica*, tomados por alumnos de la Escuela de Caminos en el curso de 1855 a 1856, redactados por componentes de la promoción de 1859: Javier Sanz (número 1 de la promoción), Joaquín Bellido (número 3), Enrique de León (4) y Jaime Font (5), que prepararon respectivamente los temas de «Armaduras de hierro», «Teoría de los contrafuertes y armaduras de tejado», «Espesor de muros de revestimiento», «Sistemas de puentes de Town, How y Palladio» y «Teoría de la resistencia de carriles». Es curioso observar la ausencia en este empeño del número 2 de la promoción, Rogelio Inchaurrendieta, considerado por SAENZ RIDRUEJO (1990) como «el más completo entre los Ingenieros de Caminos del último tercio del siglo XIX», quien, cuando llegó a ser director de la Escuela de Caminos, defendió con apasionamiento los fundamentos científicos de la enseñanza y los trabajos prácticos. En su nota a la publicación de la *ROP* conmemorativa del centenario del cuerpo de ingenieros de Caminos indica, entre otras acertadísimas observaciones (que paradójicamente podrían ser de aplicación en la actualidad):

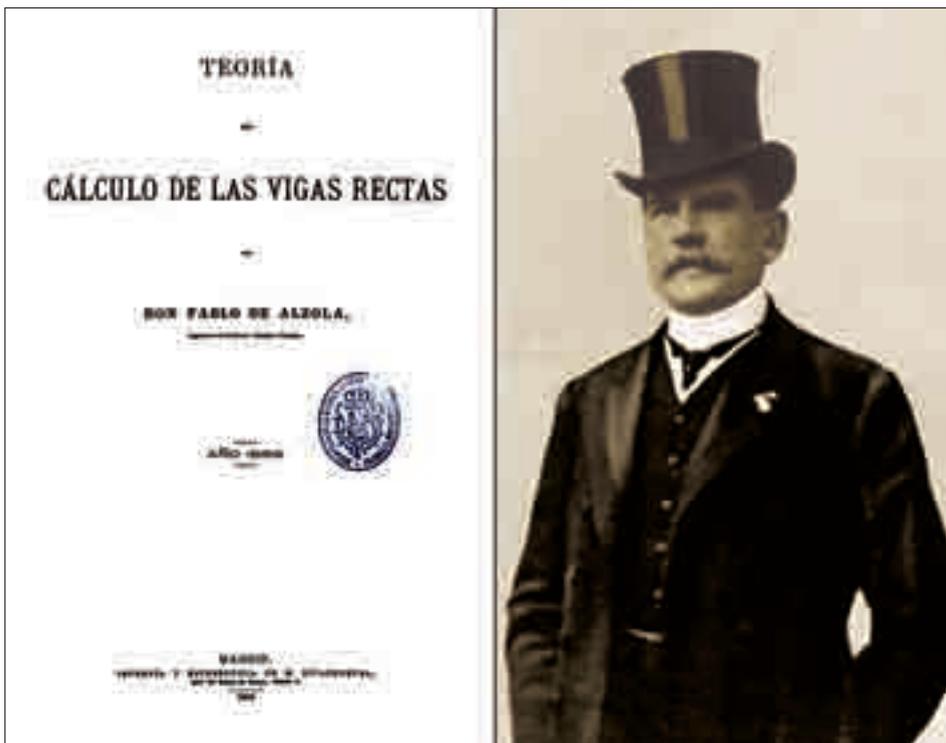
consigno mi protesta contra la tendencia que he visto en algunos, pocos por fortuna, que quisieran sacrificar la teoría a una práctica que, entendiéndose bien, jamás sería completa, y que transformaría nuestra Escuela de Ingenieros verdaderamente tales en una Escuela de Artes y Oficios.

Por todo ello cuesta imaginar que en su etapa discente no se sintiera atraído por participar en la labor de inmortalizar las lecciones de un profesor joven y entusiasta admiradísimo en la Escuela incluso cuando era alumno, en una época en la que cursaban en ella personajes extraordinarios como Sagasta o Echegaray. Saavedra es el único estructuralista español cuya imagen está incluida en KURRER (2008).

En esta época comenzó a publicar también José Antonio Rebolledo (1833-1910). Desde el punto de vista de cálculo de estructuras es interesante su traducción del libro

de J. W. Sheilds sobre *Fuerzas que actúan en las obras de hierro* (SHEILDS, 1866), así como el *Manual del constructor práctico* (REBOLLEDO, 1910), que, destinado en origen a la Escuela de Ayudantes de Obras Públicas, alcanzó numerosas ediciones que llegaron el siglo siguiente con un nombre más general. La quinta edición tiene un suplemento de J. E. Ribera sobre hormigón armado que «es lo más interesante del libro» (SÁENZ RIDRUEJO, 1990).

Para la Escuela de Obras Públicas fueron escritos también dos manuales que, sin aportaciones originales, marcan, sin embargo, el nivel habitual de conocimientos: *Cálculos sobre la determinación del espesor que deben tener los muros de sostenimiento* (REDONDO, 1867) y la traducción de la *Teoría general de construcción de puentes*, de Herman Haupt, ingeniero excepcional, patriarca de la ingeniería de puentes en EE. UU., llevada a cabo por Mariano Esquirol (HAUPT, 1869). Aunque existían también publicaciones del mismo estilo práctico, tanto civiles como militares (BÁRCENA, 1870; CAMPO-REDONDO, 1854; GAZTELU, 1904; GER Y LÓBEZ, 1869; MÁRQUEZ VILLARROEL, 1865; MUÑOZ, 1864; y TONS, 1909), al final del período considerado (1841-1912) aparece una publicación de Pablo Alzola que, en nuestra opinión, es, junto con las *Bóvedas* de Joaquín Monasterio, lo único destacable en cuanto a originalidad de planteamiento de la



8.9. Pablo de ALZOLA: Teoría del cálculo de las vigas rectas, Madrid, 1870.

investigación española del siglo XIX. Nos referimos a la *Teoría del cálculo de las vigas rectas* (fig. 8.9; ALZOLA, 1870), que, al parecer, fue escrita tras su proyecto de puente sobre el Guadalhorce.

La obra tiene una finalidad última de aplicación, pero ello no impide una pesquisa sistemática de las propiedades de las leyes de flectores para cargas concentradas y repartidas, así como de sus puntos característicos, en un claro precedente de los *characteristic points* que Claxton Fidler propondrá catorce años más tarde, idea que será posteriormente desarrollada por Müller-Breslau (1891). Por desgracia, no consta que Alzola diese a conocer su obra internacionalmente. Antes al contrario, en el mismo año de su publicación el autor se trasladó a Bilbao, donde inició una labor pública bien conocida, dedicado primero a la Administración local y luego a la nacional, ya que en 1900 fue nombrado director general de Obras Públicas. Previamente, en 1897, había sido elegido académico correspondiente de la RACEFN. En su empeño de desarrollo de Bilbao le acompañó el famoso ingeniero portuario Evaristo Churrua, compañero de una interesante promoción (la de 1863) de ingenieros de caminos a la que también pertenecía Pelayo Clairac, autor de un ambicioso *Diccionario general de arquitectura e ingeniería* cuyo tomo II (CLAIRAC, 1879) fue prologado por Saavedra.

En el último cuarto del siglo XIX la situación tampoco es muy boyante en cuanto a publicaciones originales. Llegan los desarrollos de Culmann y Müller-Breslau, y, a través de este último, los primeros ecos de la obra de Castigliano.

El grito «¡Basta de matemáticas!» con el que Machimbarrena iniciará treinta años después uno de sus discursos más sonados en la Asociación de Ingenieros Civiles se gesta en esta época, en la que ese convencimiento permea todos los ambientes y el deseo de aumentar los llamados «conocimientos prácticos» hace que aparezcan obras que llegan a la caricatura, como la *Resistencia de materiales sin necesidad de cálculo diferencial e integral*, de FRANCISCO NACENTE (1887), que tiene la osadía de escribir lo siguiente:

Mucho se ha escrito sobre la resistencia de materiales; pero en el gran número de obras que han tratado este asunto no hay ninguna que lleve las condiciones necesarias para ser útil o provechosa en la práctica.

El autor, por cierto, da el nombre de «esfuerzos» a los cortantes, flectores, axiles y torsores, pero es uno de los primeros que tiene la desdichada ocurrencia de llamar «fatigas» a las tensiones.

El pintoresquismo llega a su extremo con las monografías de Federico Villarreal, de la Escuela de Ingenieros de Lima, que, bajo el lema «progresado estás vivo, restado estás muerto», decide publicar ediciones bilingües en castellano y... esperanto o volapuk (VILLARREAL, 1901).

Se produjo también un relajamiento en la enseñanza. Vicente Machimbarrena, que fue número 3 de la promoción de 1888 en la Escuela de Caminos, y, por tanto, debió de estudiar la Mecánica Aplicada cuando estaba a cargo de Eduardo Echeagaray, cuenta en sus *Memorias* (MACHIMBARRENA, 1940):

Una de las asignaturas más importantes de la carrera ha sido y es la Mecánica Aplicada a las Construcciones, que nos explicaba un profesor de apellido glorioso en nuestra Escuela y fuera de ella, que por lo mismo se le conocía, para diferenciarlo, con un sobrenombre de lo más despectivo y maloliente [...]. Tanto en la Resistencia de Materiales como en la Hidráulica teórica, nos limitábamos a recitar la obra de Collignon, que el profesor escuchaba medio dormido [...]. La subordinación de la enseñanza técnica española a la francesa resultaba en nuestro tiempo de estudiantes harto depresiva y era signo de decadencia.

Existen, sin embargo, algunos libros que mantienen, por lo menos, la dignidad, ya que no las aportaciones originales. Uno de ellos es la *Resistencia de materiales y estabilidad de las construcciones*, del ingeniero agrónomo y profesor en el Instituto Agrícola Alfonso XII José de ARCE (1898). La segunda edición es de 1898 y está formada por dos enormes tomos, el primero de 368 páginas y el segundo de 800, que contiene no solo la teoría de piezas rectas, sino desarrollos relativos a muros de contención, bóvedas, cerchas y entramados de hierro. En la teoría se apoya en la estática gráfica, donde demuestra estar al tanto de los desarrollos de Culmann, con el que reconoce su deuda intelectual, aunque cita también a clásicos como Weyrauch o Levy. Al estudiar las vigas continuas, su análisis de leyes de esfuerzos hace recordar los métodos de Alzola, pero es imposible conocer sus fuentes, que no cita explícitamente. Es una obra muy bien editada, con figuras claras y muchos ejemplos, que mereció un informe positivo de Eduardo Saavedra a la RACEFN. En nuestra opinión, y salvando la falta de material original, se trata de uno de los mejores libros de texto escritos en el siglo XIX.

Se publica también el tratado más completo sobre construcciones de mampostería (BOIX, 1889), cuyas reglas prácticas de dimensionamiento tendrían gran influencia entre sus sucesores. Igualmente interesante es la *Mecánica aplicada a las construcciones* del coronel MARVÁ (1902), que llegó a ser miembro de la RACEFN.

Otra obra de gran dignidad es el *Curso de mecánica aplicada a las construcciones* de GRANDA Y CALLEJAS (1909). Ingeniero de caminos de la promoción de 1894, Bernardo Granda representa la transición al siglo XX. La edición de 1909 tiene dos tomos: el primero, de unas 500 páginas, está dedicado a la elasticidad y a las piezas rectas; en el segundo, de más de 1.000 páginas, se estudian las piezas curvas, las estructuras laminares, los muros de contención, las bóvedas, las chimeneas, etc. Poncelet, Navier, Saint-Venant, Rankine son citados en la primera parte, donde las tensiones son llamadas «fuerzas» o «acciones moleculares», y, así, se habla del «elipsoide de acciones moleculares» y de «acciones moleculares principales». Distingue claramente el fenómeno de fatiga y cita a Whöler y Weyrauch, y trata extensamente los métodos gráficos, haciendo referencia a sus creadores, Culmann y Ritter, así como al uso de la «elipse central» para piezas curvas.

Uno de los puntos fuertes que debían «sufrir» los alumnos eran las vigas continuas. Ahí Granda menciona a «Clapeyron» (sic) y el teorema de los tres momentos «de Bertot»⁸, lo que demuestra un conocimiento profundo de la literatura. Su maltrato al

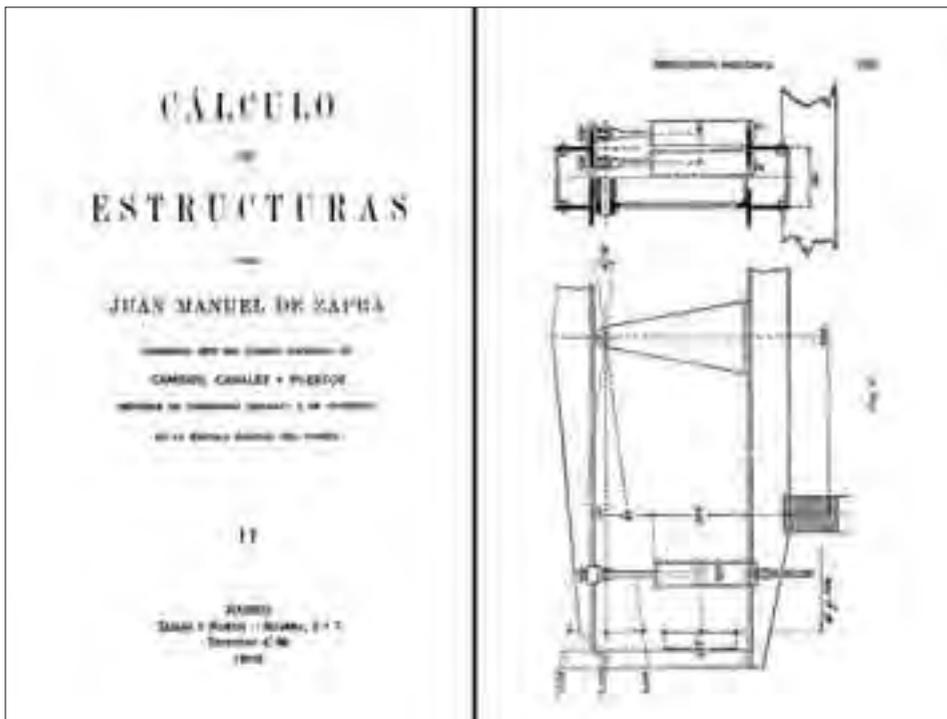
⁸ Al parecer, Clapeyron explicó a Bertot su teorema de los tres momentos y este último lo publicó inmediatamente sin permiso; en las obras posteriores de Clapeyron no hay ni una sola cita a Bertot.

alumnado provocaba el rechazo hacia la asignatura, como deja traslucir discretamente Fernández Casado en su primera lección como catedrático (1958):

No disponíamos (1924) de métodos de cálculo eficaces para las estructuras más frecuentes y otros como el de la viga de varios tramos o el de las presas de gravedad estaban tarados por el sello de una inútil crueldad.

(En los años sesenta, uno de nosotros pudo escuchar el mismo tipo de reproches dirigidos a Granda, directamente de labios de varios profesores de la Escuela de Caminos).

En esta época de transición al siglo xx se dispone, por fin, de textos españoles modernos de cálculo de estructuras y de elasticidad, y aparecen los primeros tratados para cálculo de hormigón armado, el material destinado a renovar las técnicas de construcción y las tipologías en el xx. El primero es el abrumador *Cálculo de estructuras* de Juan Manuel de Zafra (1869-1923), publicado en 1915 pero basado en artículos suyos de la *ROP* de años anteriores. Son dos tomos con un total de unas 1.400 páginas, cuyo objetivo, según confiesa el autor en el prólogo, es



8.10. Juan Manuel de Zafra (1869-1923), titulado en 1892, no es propiamente ingeniero decimonónico, sino significado representante de las generaciones con las que comienza el nuevo siglo. En particular inició en España el desarrollo del cálculo de obras de hormigón armado, en paralelo con las realizaciones de José Eugenio Ribera. Su *Cálculo de estructuras* data ya de 1916.

divulgar los métodos de cálculo de estructuras basadas en el trabajo elástico que, pese a sus cuarenta años de fecha, eran poco menos que desconocidos en España como en Francia.

Zafra da la impresión de haberlo leído todo, «en libros y revistas, casi exclusivamente en lengua tudesca», pero su asimilación, criterio de selección, y planteamiento y desarrollo de los problemas convierten su obra en una de las mejores escritas en español. Aunque su foco de inspiración son Möhr y Müller-Breslau, el autor deja claro que

ni traducimos ni copiamos; pretendemos exponer para españoles y a la española, como nuestra raza y lengua requieren, lo que aprendido en muy diversos orígenes, seleccionado y madurado después, ha llegado a formar nuestro criterio, nuestro conocimiento personal.

Como hemos indicado en otro lugar (ALARCÓN, 2000), la puesta al día de la obra es impresionante y procede del foco de conocimiento que en el último cuarto del siglo XIX había pasado de Francia a Alemania, según indica Timoshenko, que visitó los principales centros de ambos países y decidió escoger los laboratorios del segundo por su actividad y dinamismo.

I went around also to the Arts et Métiers laboratory. They were running test there, recording the elongations of a specimen under impact. My visit to the laboratory showed me that, in the area of strength of materials, France was far behind Germany, that I had nothing to learn from the French. This conviction remained with me always, all that happened later only confirming that first impression.

The days of Navier and Saint Venant were long gone. In the twentieth century France has produced little of any significance in the area of structural mechanics. (TIMOSHENKO, 1968).

Además, Zafra incluye al final los planos de una máquina para resolver sistemas de ecuaciones lineales y facilitar el cálculo de estructuras.

Juan Manuel de Zafra es autor también del primer libro de texto en español sobre cálculo del hormigón armado (1911) y de numerosos artículos sobre el tema, entre los que existe una sonada polémica con Hennebique y sus patentes. Cuando en 1919 ingresó en la RACEFN (ZAFRA, 1919), defendió la tesis del planteamiento abstracto de los fenómenos naturales: «el progreso de la Construcción exige cada día más imperiosamente el progreso de la Mecánica aplicada». Quizá por ello, al crear fama de «excesivamente teórico» en un medio donde el grito de guerra, bajo la bandera ideológica de Machimbarrena, era «¡Basta de matemáticas!» (y se componían libros de texto como el de Gaztelu, donde deliberadamente se reducían al mínimo los desarrollos «teóricos»), ha acabado desapareciendo del «santoral» más popular de los ingenieros de caminos. No obstante, figuras como Eduardo Torroja o Carlos Fernández Casado no dejaron nunca de ponderarlo:

Este libro, en fecha de su publicación, era uno de los tratados más completos de la teoría de estructuras y [...] modelo de exposición clara y rigurosa [...]. Zafra llegó a conseguir ese difícil equilibrio entre ciencia y arte de la construcción que consideramos

como meta a la que debe aspirar todo ingeniero constructor. Creemos que ha sido injustamente relegado al olvido. (FERNÁNDEZ CASADO, 1957-1958).

[...] cuando se siente el influjo de la savia matemática que Echegaray y Zafra vierten con sus teorías de Elasticidad y de las Estructuras, respectivamente. (TORROJA, 1953).

No conviene hacerse ilusiones sobre la repercusión de estos trabajos en el acervo intelectual de la profesión. Cuando Eduardo Torroja, en 1953, escribe en el número especial de la *Revista de Obras Públicas*, nos deja ver la lentitud del progreso:

Las teorías elásticas de Echegaray o de Zafra son hoy el pan nuestro de cada día en la redacción de los proyectos de construcción; y entonces, cuando salieron a la luz, parecían vanas elucubraciones ideadas a espaldas de la realidad; y muchos ingenieros consideraban una locura el pretender que los materiales se ajustaran a ellas.

Aunque el primer curso de elasticidad como tal no fue impartido hasta 1923 en la Escuela de Caminos (bajo lo que hoy sería el paradójico título de *Elasticidad y Hormigón Armado*) a cargo de Alfonso Peña Boeuf, en español se dispuso previamente



8.11. José Echegaray: Conferencias sobre física matemática, Madrid, 1909: Casi septuagenario, Echegaray fue designado para regentar la cátedra de Física Matemática de la Universidad Central (1905-1915).

de tres bloques de conferencias debidas a José Echegaray presentadas en la Universidad Central, las cuales fueron transcritas por los profesores auxiliares Antonio Vela y Pedro Carrasco.

Echegaray había pasado a la Universidad Central en 1905 como catedrático de Física Matemática, sucediendo a Francisco de Paula Rojas, de cuyo tribunal de cátedra, por cierto, había sido presidente Echegaray en 1871. Allí explica Teoría de la Elasticidad en tres cursos consecutivos (1906-1907, 1907-1908 y 1908-1909) mediante lo que él llama «Métodos de Cauchy, Lamé y Poincaré», respectivamente. Con ello indica que el primer año es la hipótesis de acciones moleculares a distancia la que lleva a las ecuaciones de equilibrio en desplazamientos; el segundo, donde hay referencias a Navier, Poisson y Clebsch, sigue, como Lamé, el equilibrio del paralelepípedo y del tetraedro (original, por cierto, de Cauchy), y finalmente, con el enfoque llamado «de Poincaré», utiliza la teoría de la energía potencial ideada por Green. El conjunto son 1.185 páginas (424 + 363 + 398), que podrían haberse reducido de no haber mediado las continuas repeticiones o la retórica desbordada típica de Echegaray.

La elasticidad de Poincaré es de 1892, pero en sus conferencias (1907-1908, p. 176) Echegaray habla de temas como las dislocaciones del anillo de Volterra «en las lecciones profesadas en Stokolmo [sic] en febrero y marzo de 1906 por el eminente profesor de la Universidad de Roma, Sr. Volterra», y en la de 1906-1907 introduce «los trabajos de Cosserat», publicados en esos años, lo que de una idea de lo actualizado de sus lecturas.

Además de estas obras sobresalientes es digna de citarse la *Resistencia de materiales* del capitán de artillería SÁNCHEZ PASTORFIDO (1906), obra muy correcta que intenta no limitarse a las aplicaciones a la construcción y que indica aplicaciones al diseño de maquinaria. De nuevo aparece en ocasiones el deseo de dar una versión personal, lo que puede verse en los apuntes de LASARTE (1906), que no están a la altura de lo que podría esperarse de la fecha en la que fueron publicados y del centro en el que se impartían las clases (Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona). Frente a ello, otro ilustre ingeniero industrial, VELASCO DE PANDO (1924), enuncia muy pronto su preparación en una obra interesantísima que precederá una serie de publicaciones prodigiosas por su extensión y por la previsión de su futura aplicabilidad.

En cualquier caso, la creciente influencia de la mecánica aplicada puede ejemplificarse con el cambio del plan de estudios de las Escuelas de Ingenieros Industriales. Si en el de 1868 todo se concentraba en la asignatura de Construcciones Industriales, en el de 1902 esta se subdividió nada menos que en cuatro: Mecánica Industrial, Arquitectura Industrial, Organización de Talleres y Mecánica Aplicada a la Construcción, que abarcaba conocimiento de materiales, resistencia de materiales y estática gráfica (CARDELLACH, 1909-1910).

Realmente, en esta época aparece una cosecha extraordinaria de personalidades como Terradas, Torroja o Fernández Casado, que, junto al citado Velasco y a Arangoa, Lorente de No, Valdés Patac, Goded, etc., serán los artífices de los progresos de esta rama del conocimiento durante el siglo xx.

Agradecimientos. Fernando Sáenz Ridruejo ha contribuido a corregir algunos errores e imprecisiones que se habían deslizado en la primera versión de este capítulo. También han colaborado con sus informaciones e ideas Jesús Fraile (catedrático de la ETSICCP de la UPM), el coronel Carlos Vega (EPS del Ejército), Concepción García Viñuela (directora de la biblioteca de la ETSICCP de la UPM), María Dolores Campaña e Isabel Inés Mendoza (sucesivas directoras de la biblioteca de la ETSII de la UPM) y Mercedes Martín (directora de la biblioteca de la EPS del Ejército en Madrid). A todos ellos, nuestro más sincero agradecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN, E.: «Los métodos de cálculo», en E. Alarcón *et al.*: *De la construcción a la ciencia: ayer y hoy de Eduardo Torroja*, Madrid, Real Academia de Ingeniería, 2000, pp. 207-236.
- ALONSO VIGUERA, J. M.^º: *La ingeniería industrial española en el siglo XIX*, Madrid, s. n., 1944.
- ALZOLA, P.: *Teoría del cálculo de las vigas rectas*, Madrid, Rivadeneyra, 1870.
- ARCE, J. de: *Resistencia de materiales y estabilidad de las construcciones*, Madrid, 1898, 2.^ª ed.
- AZOFRA, M. M.^º de: *Curso industrial o lecciones de aritmética, geometría y mecánica, aplicadas a las artes*, Valencia, Oficina de Manuel López, 1838.
- BAILS, B.: *Elementos de matemática*, t. IX, parte I: «Arquitectura civil», Madrid, s. n., 1796, 2.^ª ed.
- BÁRCENA, L. de la: *Formulario del constructor*, Madrid, s. n., 1870.
- BELHOSTE, B.: *Augustin-Louis Cauchy*, Nueva York / Berlín, Springer, 1991.
- BELLUZZI, O.: *Scienza delle costruzioni*, Bolonia, Zanichelli, 1946.
- BETANCOURT, A. de: *Description de la salle d'exercice de Moscou*, San Petersburgo, s. n., 1818.
- y J. LÓPEZ DE PEÑALVER: *Memoria sobre los medios de facilitar el comercio interior*, 1791.
- BLONDEL, F.: «Résolution des quatre principaux problèmes d'architecture», en *Mémoires de l'Académie Royale des Sciences*, 1666-1699, París, Compagnie des Librairies, 1729.
- BOIX, E.: *Estabilidad de las construcciones de mampostería*, Madrid, s. n., 1889.
- BOUSSINESQ, J.: *Application des potentiels à l'étude de l'équilibre et du mouvement des solides élastiques*, París, Gauthier-Villars, 1885 (reed., Albert Blanchard, 1969).
- BRESSE, J. A.: *Cours de mécanique appliquée. Première partie: résistance des matériaux et stabilité des constructions*, París, Mallet-Bachelier, 1859.
- BRICAS, M.: *La théorie de l'élasticité bidimensionnelle*, París, Gauthier-Villars, 1936.
- BRILLOUIN, L.: *Les tenseurs en mécanique et élasticité*, París, Masson, 1938.

- BUCCIARELLI, L. L., y N. DWORSKY: *Sophie Germain*, Dordrecht, Reidel, 1980.
- CÁMARA, M. de la: *Agenda del constructor*, Valladolid, 1871.
- CAMPORREDONDO, P.: *Estracto [sic] de las lecciones de mecánica y construcción*, Madrid, Francisco del Castillo, 1854, 2 vols.
- CARDELLACH, F.: «La enseñanza de la construcción en las Escuelas de Ingenieros», *Anuario de la Universidad de Barcelona*, Imprenta Jaime Jepús, curso 1909-1910, pp. 229-347.
- CASTIGLIANO, C. A. P.: *Théorie de l'équilibre des systems élastiques et applications*, Turín, Negro, 1879 (versión inglesa, Nueva York, Dover, 1966).
- CAUCHY, A. L.: *Exercices de mathématique*, París, 1827, vol. 2.
- CERERO, R.: *Estudio sobre la resistencia y estabilidad de los edificios sometidos a huracanes y terremotos*, Madrid, s. n., 1890 (ed. facs., Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1992).
- CHARLTON, T. M.: *A history of the theory of structures in the nineteenth century*, Cambridge UP, 1982.
- CLAIRAC, P.: *Diccionario general de arquitectura e ingeniería*, Madrid, Zaragoza y Jayme, 1879, t. II.
- CLAXTON FIDLER, T.: «Continuous girder bridges», *Proceed. Inst. Civil Eng.* 74 (1883), pp. 196-214.
- CLEBSCH, A.: *Théorie de l'élasticité des corps solides*, trad. de Saint-Venant y Flamant, París, Dunod, 1883.
- COLEGIO ICCP: *J. Eugenio Ribera, ingeniero de caminos, 1864-1936*, Madrid, ICCP, 1982.
- COSSERAT, E. y F.: *Théorie des corps déformables*, París, Hermann, 1909.
— *Sur la théorie de l'élasticité*, Faculté des Sciences de Toulouse, t. x, 1896.
- CULMANN, C.: *Die graphische Statik*, Zúrich, Meyer & Zeller, 1875, 2.^a ed.
- DUPIN, C.: *Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes*, trad. de Juan López Peñalver de la Torre, Madrid, José del Collado; vol. I, 1830; vol. II, 1835.
- DUVAUT, G.: *Mécanique des milieux continus*, París, Masson, 1990.
- ECHEGARAY, J.: *Conferencias sobre física matemática*, Madrid, s. n., 1907, 1908 y 1909.
— *Recuerdos*, t. II, Madrid, Ruiz Hermanos, 1917.
- FERNÁNDEZ CASADO, C.: «Construcción, proyecto y cálculos», *ROP* (febrero de 1957), pp. 51-54; (mayo de 1957), pp. 234-238.
- FERNÁNDEZ CASADO, C.: «Caracterización profesional del ingeniero», *ROP* (marzo de 1958), pp. 133-136.
- FERNÁNDEZ TROYANO, L.: *Cálculo del pretensado en puentes*, Madrid, Patronato Juan de la Cierva de Investigación Técnica (Monografías del Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, 243), 1964.
- GALILEO GALILEI, *Discursi e dimostrazioni matematiche intorno a due nuove scienze attenenti alla meccanica ed i movimenti locali*, Leiden, Elsevier, 1638 (existe trad. esp. en Editora Nacional).

- GARCÍA, S.: «Compendio de arquitectura y simetría de los templos conforme a la medida del cuerpo humano con algunas demostraciones. Año de 1681. Recoxido de dibersos Autores Naturales y Extrangeros».
- GARCÍA SAN PEDRO, F.: *Tratado completo de mecánica, destinado a la enseñanza en la Academia Especial de Ingenieros del Ejército*, Madrid, Imprenta Nacional, 1840.
- GAZTELU, L.: *Práctica usual de los cálculos de estabilidad de los puentes: exposición elemental*, Madrid, Eduardo Arias, 1904, 2.^a ed.
- GER Y LÓBEZ, F.: *Manual de construcción civil*, Badajoz, s. n., 1869.
- GRANDA Y CALLEJAS, B. de: *Curso de mecánica aplicada a las construcciones*, Madrid, V. Tordesillas, 1909.
- HAUPT, H.: *Teoría general de construcción de puentes*, trad. de M. Esquirol, Madrid, Imprenta de R. Labajos, 1869.
- HEYMAN, J.: *Coulomb's memoir on statics*, Cambridge UP, 1972.
- *The masonry arch*, Chichester, Ellis Horwood, 1982.
- *The stone skeleton*, Cambridge UP, 1995.
- HONNECOURT, Villard de: *Cuaderno del s. XIII*, Madrid, Akal, 2001.
- HOOKE, R.: *Lectures de potentia restitutiva, or of springs explaining the power of springing bodies*, Londres, John Martín, 1678 (reimpr. en R. T. Gunther: *Early science in Oxford*, Royal Society, 1931).
- KURRER, K. E.: *The history of the theory of structures*, Berlín, Ernst & Sohn, 2008.
- LAMÉ, M. G.: *Leçons de la théorie mathématique de l'élasticité des corps solides*, París, Bachelier, 1852.
- LANDAU, L. D., y E. M. LIFSHITZ: *Curso de física teórica*, vol. 7: *Teoría de la elasticidad*, trad. de J. T. D'Alessio, Barcelona, Reverté, 1969.
- LASARTE, J. M.^a: *Resumen de las lecciones de mecánica aplicada a las construcciones*, Barcelona, s. n., 1906.
- LE BOITEUX, H., y R. BOSSARD: *Élasticité et photoélasticimétrie*, París, Hermann, 1940.
- LE SEUR, T., F. JACQUIER y R. G. BOSCOVICH: *Parere di tre matematici sopra i danni che si sono trovati nella cupola di S. Pietro sul fine dell'anno 1742*, Roma, s. n., 1743.
- LOVE, E. H.: *A treatise on the mathematical theory of elasticity*, Cambridge UP, 1892 (Nueva York, Dover, 1944).
- MACHIMBARRENA, V.: *Memorias de la Escuela de Caminos*, Madrid, s. n., 1940.
- MAINSTONE, R. J.: *Developments in structural form*, Cambridge (Ma), MIT, 1975.
- MALLET, R.: *The great napolitan earthquake of 1857: the first principles of observational seismology*, Londres, Chapman and Hall, 1862.
- MANTEROLA, J.: *Relación entre la estructura resistente y la forma*, discurso de recepción en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Madrid, 2006.
- MAÑAS, J.: *Eduardo Saavedra, ingeniero y humanista*, Madrid, Turner, 1983.
- MÁRQUEZ VILLARROEL, E.: *Tratado de mecánica industrial*, Sevilla, s. n., 1865.

- MARVÁ, J.: *Mecánica aplicada a las construcciones*, Madrid, Julian Palacios, 1902, 3.^a ed. aum.
- MINISTERIO DE GRACIA Y JUSTICIA: *Colección legislativa de España*, t. 86, 2.º semestre de 1861, pp. 371-375.
- MÖHR, O. C.: «Beitrag zur Theorie der elastischen Bogenträger», Hannover, *Zeitschrift des Architekten und Ingenieur*, 27 (1868), col. 243.
- MONASTERIO, J.: *Nueva teórica sobre el empuje de bóvedas*, manuscrito, Madrid, Biblioteca ETS Ingenieros Caminos, ¿1808?
- MORIN, A.: *Résistance des matériaux*, París, Hachette, 1857, 2.^a ed.
- MÜLLER-BRESLAU, H. F. B.: *Die neueren methoden der Festigkeitslehre und der Statik der Baukonstruktionen*, Leipzig, Baumgartner, 1886.
- *Die graphische Statik der Baukonstruktionen*, Stuttgart, Kröner, 1887, 1892.
- MUÑOZ, A.: *Manual de construcción de puentes o resumen de consideraciones y reglas generales indispensables para su establecimiento y construcción*, Madrid, Imprenta Memorial de Ingenieros, 1864.
- NACENTE Y SOLER, F.: *Resistencia de materiales sin necesidad de cálculo diferencial e integral*, Barcelona, ed. del autor, 1887.
- NAVASCUÉS, P.: *Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936)*, Madrid, El Viso, 2007.
- NAVIER, C.-L.-M.-H.: *Résumé des leçons données à l'École Royale des Ponts et Chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines*, París, Firmin Didot, 1826.
- PARÍS, F.: *Teoría de la elasticidad*, Sevilla, GERM, 2000, 3.^a ed.
- PEÑA BOEUF, A.: *Mecánica elástica*, Madrid, s. n., 1930, 2.^a ed.
- PERRY, J.: *Mécanique appliquée*, París, Hermann, 1913.
- PIÉLAGO, C. del: *Teoría mecánica de las construcciones*, Madrid, s. n., 1839.
- POINCARÉ, H.: *Leçons sur la théorie de l'élasticité*, París, G. Carré, 1892.
- POISSON, S. D.: *Tratado de mecánica*, trad. de J. del Campo, Madrid, Imprenta Nacional, 1845, 2 vols.
- POLINI, G.: *Memorie istoriche della Gran Cupola del Tempio Vaticano*, Padua, Stamperia del Seminario, 1748.
- PONCELET, J.-V.: *Cours de mécanique industriel, fait aux artistes et ouvriers messins*, Metz, 1827 (también, París, 1839 y 1870).
- REAL ACADEMIA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES: *Vocabulario científico y técnico*, Madrid, RACEFN, 1983.
- *Diccionario esencial de las ciencias*, Madrid, Espasa-Calpe, 1999.
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación, *BOE*, n.º 74 (28 de marzo de 2006).
- REBOLLEDO, J. A.: *Construcción general*, Madrid, s. n., 1875 (5.^a ed., 1910).

- REDONDO, J.: *Cálculos sobre la determinación del espesor que deben tener los muros de sostenimiento*, Madrid, Imprenta de R. Labajos, 1867.
- REY PASTOR, J.: *El progreso de España en las ciencias y el progreso de las ciencias en España*, discurso inaugural del III Congreso de Valladolid de la Asociación para el Progreso de las Ciencias, Madrid, 1915.
- y J. BABINI: *Historia de la matemática*, Barcelona, Gedisa, 1985, t. 2.
- ROCA, A., y J. M. SÁNCHEZ RON, *Esteban Terradas: ciencia y técnica en la España contemporánea (1883-1950)*, Madrid / Barcelona, INTA / Ediciones del Serbal, 1990.
- SÁENZ RIDRUEJO, F.: *Ingenieros de caminos del siglo XIX*, Madrid, Colegio ICCP (Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería), 3, 1990.
- *Una historia de la Escuela de Caminos*, Madrid, Fundación Agustín de Betancourt, 2006.
- SAINT-VENANT, B. de: *De la torsion des prismes avec considération sur leur flexion ainsi que sur l'équilibre des solides élastiques en général et des formules pratiques pour le calcul de leur résistance à divers efforts s'exerçant simultanément*, París, Imprimerie Impériale, 1855.
- *Historique abrégé des recherches sur la résistance et sur l'élasticité des corps solides* [introducción a las lecciones de Navier sobre construcciones y máquinas], París, Dunod, 1864.
- SÁNCHEZ PASTORFIDO, C.: *Resistencia de materiales y sus aplicaciones a la construcción de máquinas*, Madrid, Imprenta de Eduardo Arias, 2.^a ed., 1906.
- SANDRINELLI, G.: *Manual de resistencia de materiales*, Madrid, Romo, 1907.
- SARRAU, E.: *Notions sur la théorie de l'élasticité*, París, Gauthier-Villars 1889.
- SEARS, F. W., y M. W. ZEMANSKY: *Física general*, trad. de Albino Yusta, Madrid, Aguilar, 1957, 4.^a ed.
- SHEILDS, J. W.: *Memoria sobre las fuerzas que actúan en las obras de hierro con observaciones prácticas acerca de su construcción*, trad. de J. A. Rebolledo, Madrid, Francisco Roig, 1866.
- STRAUB, H.: *A history of civil engineering*, Manchester, Leonard Hill, 1952.
- STRUTT, J. W., barón Rayleigh: *Theory of sound*, Londres, Macmillan, 1877 (Nueva York, Dover, 1945), 2 vols.
- TÉLÉZ, J., y D. MUÑOZ: *Temas en geofísica. Dedicado al profesor Udías*, Madrid, UCM, 2006.
- TERRADAS, E.: *De la estabilidad geométrica en estructuras elásticas*, Madrid, Talleres Voluntad, 1927.
- TIMOSHENKO, S.: «Sur la stabilité des systèmes élastiques», *Ann. des Ponts et Chaussées*, 17 (1913), t. III, pp. 496-566, y t. IV, pp. 73-134.
- *History of strength of materials*, Nueva York, McGraw-Hill, 1953 (Dover, 1983).
- *Resistencia de materiales*, trad. de Tomás Delgado, Madrid, Espasa-Calpe, 1961, 9.^a ed.
- *As I remember*, Princeton, Van Nostrand, 1968.

- TODHUNTER, A., y K. PEARSON: *A history of the theory of elasticity and of the strength of materials*, Cambridge UP, 1886 (reimpr., Nueva York, Dover, 1960).
- TORIJA, J. de: *Breve tratado de todo género de bóvedas, así regulares como irregulares, ejecución de obrarlas y medirlas con singularidad y modo moderno, observando los preceptos canteriles de los maestros de arquitectura*, Madrid, 1661.
- TORROJA, E.: *Determinación de esfuerzos de vigas rectas*, Madrid, ITCC, 1949.
— «Laboratorios», *ROP* (número del centenario) (mayo de 1953), pp. 19-22.
- TOUS, N.: *Puentes metálicos*, Barcelona, Borrás y Mestres, 1909.
- TRUESDELL, C. A.: *The rational mechanics of flexible or elastic bodies (1638-1788): introduction to Leonhardi Euleri opera omnia, vol. x et xi, seriei secundae*, Turici, Orell Füssli, 1960.
- VALDÉS, N.: *Manual del ingeniero*, París, J. Dumaine, 1859.
- VALLE, L. del: *Influencia que han tenido los progresos de las ciencias exactas en las artes de construcción y más especialmente en las que entra el hierro por principal elemento*, discurso de recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 1861.
- VELASCO DE PANDO, M.: *Elasticidad y resistencia de materiales*, Sevilla, A. Ruiz-Toranzo, 1924.
- VILLARREAL, F.: *Flekso da l'traboj*, Lima, Imprenta de la Escuela de Ingenieros, 1901.
- VOLTERRA, V.: «Sur l'équilibre des corps élastiques multiplement connexes», *Ann. Sci. Éc. Norm.*, 3/24 (1907) , pp. 401-517.
- ZAFRA Y ESTEBAN, J. M. de: *Cálculo de estructuras*, Madrid, Tejada y Martín, 1915, 2 vols.
— *Los progresos de la construcción y de la mecánica aplicada*, discurso de recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid, 1919.

La construcción y los materiales metálicos

Javier Manterola Armisén
Real Academia de Bellas Artes de San Fernando

El XIX es el siglo singular en el que se difunde la primera revolución industrial, que transforma radicalmente la manera de pensar y de afrontar la realidad. Muchas de las teorías y planteamientos ideológicos contruidos a lo largo de más de veinte centurias se tambalean y derrumban bajo una manera directa de enfrentarse a las cosas. Iniciada en Inglaterra, a finales de siglo se había extendido por toda Europa y la Norteamérica anglosajona.

Respecto a lo que nos atañe, la construcción varió en profundidad al asociarla al trabajo científico, lo que produjo una escisión del arquitecto en dos tipos diferentes de profesionales. El arquitecto propiamente dicho, que siguió aferrado a lo mucho que sobre arquitectura se había ido configurando a lo largo de más de veinte siglos, y el ingeniero, que corta radicalmente con la manera antigua de construir, al investigar en la construcción desde los principios de la ciencia.

Dos actitudes diferentes, cada vez más distantes, y que siempre se han considerado complementarias: la arquitectura, asociada teóricamente a lo bello, y la ingeniería, asociada a lo útil. Gran error este, que ha sido sostenido por la arquitectura oficial a lo largo de todo el siglo, y también por parte de los ingenieros, que solo se cuestionaban su quehacer desde el punto de vista de la belleza aceptada. El trabajo de los ingenieros era, según la doctrina oficial, algo necesario y útil para lo no importante ni sagrado. ¿Cómo se iba a comparar Santa Genoveva de Jacques-Germain Soufflot con la Sala de Máquinas de la Exposición Universal de 1889 de Ferdinand Dutert y Victor Contamin? Ahora, con los ojos nuevos con que miramos, los que nos han proporcionado contemplar el trabajo de los ingenieros, mirarlo en sí y compararlo con otro de los ingenieros, etc., diríamos que, efectivamente, cómo se iba a comparar la Sala de Máquinas con Santa Genoveva de Soufflot, pero pensando justamente al revés que en la época anterior. Soufflot construye un edificio espléndido, pero también el colmo de lo antiguo y acabado. Contamin persigue, con otros ingenieros, un mundo formal nuevo, inimaginable a los ojos clásicos, y a nuestro entender el más importante, inventivo y original por el que ha pasado la ingeniería.

A la arquitectura le costará cien años entenderlo y cambiar. Prolongó el neoclasicismo hasta la extenuación; creó el romanticismo, que no fue sino un resurgimiento de

lo antiguo, gótico principalmente en los países anglosajones, y fue el pistoletazo de salida de todos los eclecticismos. Decir que «un arquitecto de prestigio debe saber con seguridad qué estilo aplicar a cada cosa, gótico aquí, árabe allá, románico o neoclásico en tal o cual parte del edificio» es un planteamiento poco consistente y nada ilusionante.

Si las formas antifuniculares son las formas de la piedra, la celosía será la expresión final de un material resistente a tracción y compresión para cubrir los espacios. Si el arco fue la gran invención de la construcción en piedra, la *viga en celosía* es la gran invención de la construcción con elementos lineales.

Pero para eso hubo que desarrollar campos imprescindibles como: 1) los materiales de construcción; o 2) las nuevas configuraciones estructurales. En este capítulo se ilustra la evolución en el diseño y la construcción merced a diversos tipos de construcciones decimonónicas paradigmáticas, tales como estaciones ferroviarias, mercados o faros.

I

MATERIALES RESISTENTES

La primera revolución industrial trajo la presencia de materiales derivados del hierro con unas características resistentes no conocidas hasta entonces. Un tipo de material de configuración lineal, como consecuencia del proceso de fabricación necesario para conferirle las propiedades resistentes. Mayoritariamente, los productos siderúrgicos en España se obtenían por importación de los ingleses y franceses. En el último cuarto de siglo se fabricaron en España con cierta intensidad, participando activamente en la construcción de estructuras empresas como La Maquinista Terrestre y Marítima (Barcelona), Portilla & White (Sevilla) y muchas otras.

I.1. Tres modalidades de productos siderúrgicos: la fundición, el hierro dulce o maleable y el acero

La *fundición* se obtiene como producto de altos hornos, poseyendo el porcentaje de carbón más elevado, del 2% al 6%. Es un material duro, quebradizo pero moldeable debido a su baja temperatura de fusión, de 1.050 a 1.250°. Resiste muy bien a la compresión (se le hace trabajar a una tensión de 600 kg/cm²). Su resistencia a la tracción es muy pequeña, del orden de 150 a 200 kg/cm², lo que determina que no se utilice su trabajo a tracción o a flexión.

Su iniciación a nivel industrial se empezó a realizar por una familia de célebres metalúrgicos a partir de Abraham Darby, quien descubrió el procedimiento de moldeo de la fundición en arena, que hizo patentar en 1709. Sustituyó el carbón vegetal por el coque, cuya combustión era más difícil que la de aquel. Ello obligó a que se activase mediante sopladores potentes que generalmente operaban mediante molinos de agua dotados de ruedas de gran diámetro. Por otro lado, la temperatura alcanzada por el coque era mayor que la del carbón vegetal, lo que convertía el material en

más fluido y permitía realizar mezclas más finas que las que proporcionaba el carbón vegetal.

El predominio de la estructura metalúrgica inglesa fue enorme en aquel tiempo y los demás países siguieron las pautas de fabricación allí desarrolladas. La industria británica producía 160.000 toneladas de fundición en 1800 y 700.000 en 1830, la mitad de la producción mundial.

La conversión de la fundición dura en *hierro dulce o maleable* se logró con la utilización de hornos con compartimentos separados para el combustible y el metal, llamados hornos de reverberación. El metal así obtenido tenía proporciones importantes de carbono y azufre, lo que le convertía en quebradizo. El problema de su purificación se consiguió con el horno de pudelaje, un horno de reverberación provisto de aberturas que permitían agitar el contenido efervescente para después forjarlo y laminarlo. Se le hace trabajar a 600-1.000 kg/cm² bajo ambos tipos de tensiones de tracción y compresión. Su módulo de elasticidad es similar al acero.

Finalmente, *el acero* contiene una proporción de carbono menor del 2% y sus propiedades son tales que se le hace trabajar a 1.000-1.200 kg/cm² y tiene una resistencia de entre 3.600 y 4.000 kg/cm². Se obtuvo por primera vez con el convertidor Bessemer, que consiste en un recipiente con un «pico» para verterlo. El metal bruto en fusión era atravesado por un vigoroso chorro de aire que provocaba la combustión del carbono y la mayor parte de las impurezas. Posteriormente se cambió el procedimiento al Siemens-Martin.

Se plantearon dudas entre los que apostaban por la utilización del hierro y los partidarios del acero. Por ejemplo, en la Exposición Universal de 1889, la galería de máquinas fue construida en acero, mientras que la Torre Eiffel fue de hierro pudelado.

1.2. Apunte sobre precios y perfiles de los materiales metálicos

A lo largo del siglo XIX los productos siderúrgicos experimentan un abaratamiento progresivo. De 1815 a 1848 el precio bajó de un índice 150 a 100. La crisis internacional de 1873 hizo descender los precios de un índice 130 a 85 a fin de siglo. El acero cayó desde 497 francos por tonelada en 1865 a 314 en 1869. Con el convertidor Thomas llegó a 150 francos en 1885.

El coste importante del hierro y del acero hizo que se optimizase la distribución del material para la misma área, para lo que se crearon diversos perfiles. Aunque ya en 1807 Young estableció la existencia de un eje neutro en una viga flectada, y por consiguiente la suposición de que la materia debería disponerse en sus extremos, no es hasta principios de 1844 cuando Richard Turner usa perfiles doble T de fundición de 45 cm de altura en el formidable invernadero del Kew Garden. Los perfiles en L y en T ya se usaban en 1820. Los perfiles en doble T fueron introducidos en Francia en el verano de 1845 por Eugène Flachat.

Los medios de unión para formar los emparrillados de pisos se realizaban con vigas doble T enteras laminadas o constituidas por una chapa vertical, angulares en la parte superior e inferior, y chapas horizontales en cabezas. Las uniones se hacían por

Antes de 1800: piedra y madera

Fundición	→	2 a 6% carbono Compresión 600 kg/cm ² Tracción 150 kg/m ²
Hierro	→	Compresión y tracción 600 a 1.000 kg/cm ²
Acero	→	< 2% de carbono Compresión y tracción 1.200 kg/cm ²

Enlaces:



9.1. Materiales y enlaces: La configuración en vigas de los materiales metálicos y sus uniones se expanden rápidamente a lo largo del siglo XIX.

bulones en caliente, que rellenaban completamente los orificios al introducirlos y aplastarlos, condición importante cuando se tienen varios bulones para resistir un mismo esfuerzo. Los tornillos también se emplearon (fig. 9.1). El relleno entre perfiles secundarios para completar el forjado se efectuaba generalmente con una cerámica perforada, como se realiza ahora.

I.3. Los cerramientos de vidrio

El cerramiento entre perfiles metálicos en las grandes salas de exposición, estaciones de ferrocarril, invernaderos, etc., se hacía con coberturas en vidrio. Su tamaño dependía de las condiciones de fabricación. En el Crystal Palace (1851), su tamaño no pasaba de 1,2 × 0,3 m. Pronto se industrializaron y normalizaron en quince tamaños, desde 1,32 × 0,3 m hasta 0,69 × 0,66 m. Se podían fabricar vidrios de hasta 2,52 m de longitud.

La fijación del vidrio sobre la estructura metálica se realizaba por piezas de hierro en T, espaciadas de 40 a 70 cm, con dimensiones de 36 × 40 mm o 40 × 45 mm.

Muchas veces se recurría a acristalamientos dobles: el primero aseguraba la impermeabilidad y el segundo, colgando de triángulos del primero, daba un aspecto más agradable. Se creaba así una cámara de aire y se controlaba la condensación de agua.

II

TEORÍAS Y CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS

En la ingeniería siempre existió un desfase entre la ambición puesta en la configuración de la construcción, el conocimiento y aplicabilidad de la resistencia de materiales, por un lado, y la teoría de estructuras conocidas, por otro. En 1826 Thomas Telford construye el puente colgante del Menai, cuando la resistencia de materiales apenas había empezado su camino. El conocimiento que existía sobre el comportamiento resistente del hierro era sobre todo experimental.

Diseñar y construir sin saber lo suficiente ha sido una constante a lo largo de toda la historia. Nunca la construcción ha esperado a que los problemas teóricos que los mismos constructores planteaban estuviesen resueltos. La teoría va avanzando a trancas y barrancas detrás de las obras ya construidas con conocimientos imprecisos, inexactos y que llenaban de dudas a los constructores, dudas que, sin embargo, nunca detuvieron el proceso de diseño y construcción.

La teoría de la elasticidad se hizo operativa a lo largo de todo el siglo XIX¹. El módulo de elasticidad lo introduce Thomas Young en 1809. Como se ha mencionado, Young también descubrió la presencia de un eje neutro en las vigas flectadas, lo cual dará lugar a las vigas doble T como solución al problema de mantener la eficacia resistente dentro de una economía de materiales, hecho fundamental por el gran coste que en aquella época tenía el hierro pudelado. Todo el desarrollo de los perfiles metálicos combina la mínima utilización del material y la máxima eficacia para configurar perfiles y uniones útiles. De este modo se puede constatar la imprescindible utilidad de las L metálicas en las uniones entre vigas y en la configuración de tantos perfiles de doble T, que la laminación no proporcionaba en las dimensiones requeridas. Prácticamente la configuración de la sección transversal más eficaz es consecuencia de los angulares y los roblones (fig. 9.1).

Dada su menor resistencia a la tracción, las vigas de fundición pronto llevaron a la configuración de vigas asimétricas, con mucha mayor cabeza en la zona tendida (i. e., que trabaja a tracción). Lo cierto es que las vigas de fundición se utilizaron principalmente en la tecnología inglesa, donde prolongaron su uso cuando en el continente ya se utilizaba el hierro forjado y laminado.

En 1830 se produce un hecho significativo: Claude Louis Navier (1785-1836) presenta en la Academia de Ciencias de París sus *Leçons* ya publicadas en 1826, donde se muestra por primera vez una teoría correcta de la distribución tensional en la sección transversal de una viga flectada. Ofrece un método general de análisis de los problemas estáticamente indeterminados. Constata que estos problemas están determina-

¹ Véase, en este mismo volumen, el capítulo precedente, de A. FRAILE y E. ALARCÓN: «Mecánica de medios continuos y teoría de estructuras».

dos si las barras de un haz cargado se consideran infinitamente rígidas; pero, si se considera su elasticidad y deformación, esto permitirá determinar un número de ecuaciones suficientes para obtener la carga de cada barra.

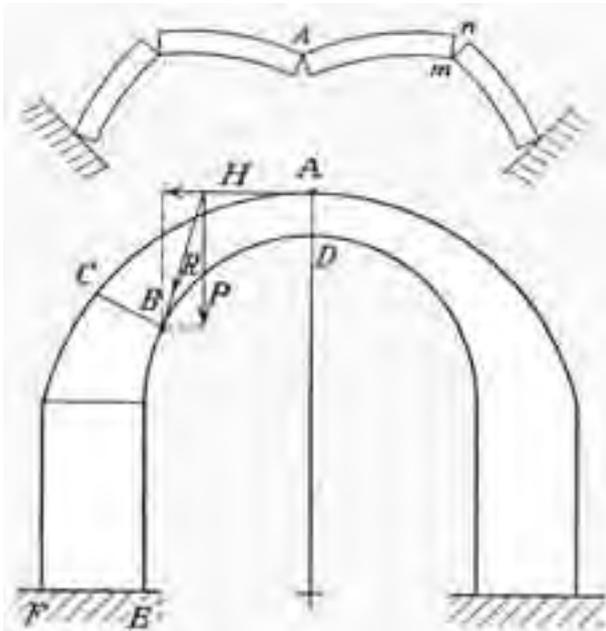
De este modo resuelve problemas hiperestáticos como la viga empotrada y apoyada, al mismo tiempo que establece el cálculo del empuje horizontal de arcos circulares y parabólicos bajo cargas simétricas. Igualmente, señala la importancia del límite de elasticidad. La resistencia de una viga y su flecha era posible por métodos simples.

Las tensiones máximas en la fundición no solían pasar de 150 kg/cm^2 , de 600 a 800 kg/cm^2 en el hierro y de 1.000 a 1.200 kg/cm^2 en el acero. El módulo de elasticidad utilizado para la fundición era de $1.100.000 \text{ kg/cm}^2$ y de $2.000.000 \text{ kg/cm}^2$ para el hierro y el acero, valores estos necesarios para, con fórmulas simples, aproximar las flechas del edificio.

Para el cálculo de arcos, en el primer tercio del siglo XIX se utilizaba la teoría de Charles Agustín de Coulomb, que había establecido que la rotura de los arcos se producía según cuatro trozos. Por dicha razón, la fuerza H tenía que estar aplicada en la parte superior de la coronación del arco. Era necesario encontrar la sección CB , donde la componente del peso y la fuerza H pase por B , lo cual se podía hacer por tanteos.

Navier no utilizaba el punto A , porque suponía que la carga debía pasar por un punto situado a $1/3$ de la altura para que hubiese material que resistiese y que la fuerza H se repartía linealmente en el canto, con tensión cero en la parte inferior.

En 1843 el reverendo Henry Moseley hace la presentación del método de Navier en Inglaterra y lo desarrolla. Ayuda a Robert Stephenson en el cálculo y la construc-



9.2. Planteamiento del cálculo de los arcos por Coulomb:

1) formación de cinco articulaciones en el momento de la rotura; 2) el empuje horizontal H se hace pasar por la parte superior del arco (Navier la coloca a $1/3$ del canto). Se tenía que obtener el punto de paso de la resultante B , coincidente con la segunda articulación por el equilibrio del peso propio P de la porción del arco con la fuerza F .

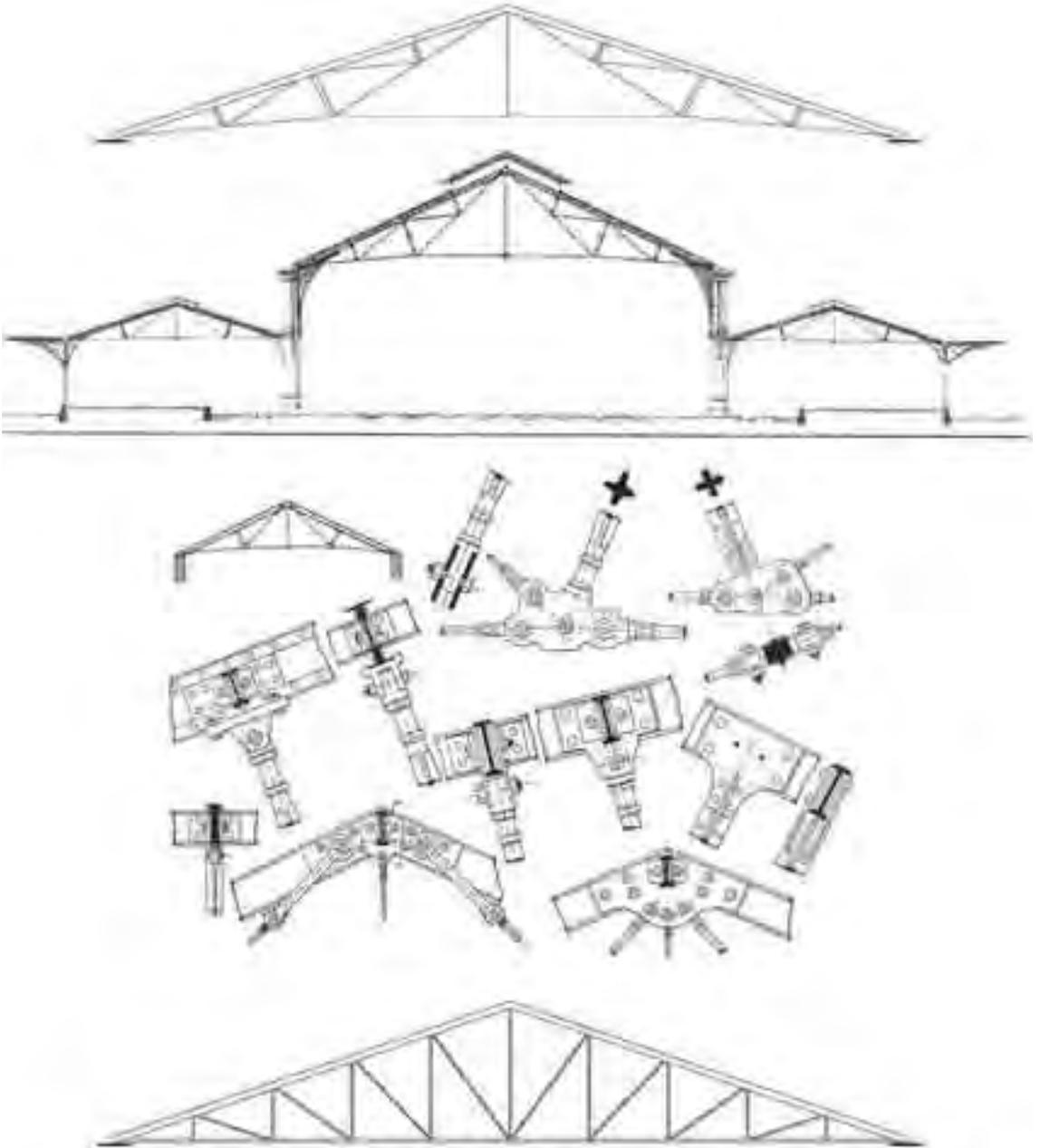
ción del puente de Britannia, viga tubular continua de $70 + 140 + 140 + 70$ m. Jean Claude Sain-Venant especifica que la sección transversal permanece plana durante la deformación y que todas las fibras longitudinales de la viga no actúan entre sí transversalmente, sino que se alargan y encogen longitudinalmente durante la flexión. Demuestra la deformación por esfuerzo cortante de las vigas que alabea la sección transversal. Émile Clapeyron generaliza y ordena el análisis de las vigas continuas alabando el extraordinario trabajo realizado en el puente de Britannia. Charles Bresse desarrolla el planteamiento de Navier sobre el cálculo de arcos y lo extiende a arcos biempotrados. Emil Winkler elimina la condición impuesta por Navier y Bresse de que el arco sea delgado comparado con la luz. Winkler aborda el caso de arcos muy gruesos, o aquellos arcos de los eslabones de las cadenas, etc., en que la longitud de las fibras varía mucho a lo largo de la sección transversal debido a la gran curvatura de la forma, resultados que aplica al análisis de las tensiones de cadenas. Saint-Venant profundiza en los trabajos de Navier y presenta en 1853 una síntesis de la teoría de elasticidad de la época y una solución rigurosa al problema de la torsión y la flexión.

Puede decirse que *la viga en celosía* es la invención más grande de la ingeniería del siglo XIX y de valor comparable, para la industria de la construcción, a la invención del arco en la más remota Antigüedad. Lo que el arco puede hacer con elementos de masa como la piedra, lo hará la celosía para elementos lineales como los producidos por el hierro y el acero.

La celosía encuentra sus orígenes en la Antigüedad como primer procedimiento para hacer cerchas a dos aguas de madera. En el Renacimiento Andrea Palladio da un paso de gigante, también trabajando en madera, seguido por los avances que consiguen los Grubenmann en el siglo XVIII. En la época que nos atañe se comenzó haciendo búsquedas empíricas ligadas a la construcción de puentes. Estas vigas se empezaron a usar en Estados Unidos, estuvieron vinculadas con la construcción del ferrocarril. Palmer (1807), Burr (1815), Wernwag (1812), Howe (1840), Wipple (1852), etc., establecieron diversas patentes de celosías inventadas por ellos, por el procedimiento de prueba y error, más que como resultado de cálculos científicos.

Navier en 1826 empieza a dilucidar los problemas de la estática gráfica, pero su lanzamiento definitivo lo realiza Carl Culmann en 1849. Fue enviado, por la Royal Railways Commission en Múnich, a Inglaterra y los Estados Unidos de América a estudiar los avances realizados por esos países sobre puentes y celosías, en madera y hierro forjado. En 1875 Culmann publica una segunda edición de su libro *Die graphische Statik*. Su alumno en Zúrich, Wilhelm Ritter, continúa su trabajo (1888-1907).

La estática gráfica fue difundida en Francia por Maurice Levy en los años 1870 a 1880. Su propagación en los demás países europeos se realiza por Otto Mohr y H. Müller-Breslau, en Alemania, y por Luigi Cremona, en Italia, cuya obra se traduce al inglés en 1890 (*Graphical statics. Two treatises on the graphical calculus and reciprocal figures in graphical statics*).



9.3. Cerchas Polonceau para la cubrición de la estación de Austerlitz (París, 1869): Con luz de 52,55 m, el diseño articulado de todas las barras, como correspondía al cálculo, convertía el diseño en precioso. Abajo se representa una cercha en celosía (triangulación tipo Pratt).

El cálculo de arcos en celosía se desarrolla a finales de 1870 con los trabajos realizados por Joseph Louis Henry de Dion para la Exposición Universal de 1878. Otto Mohr, en su teoría de arcos en celosía (1881), establece las propiedades del *centro elástico*, que facilita extraordinariamente la resolución de los sistemas de ecuaciones para arcos empotrados triangulados.

Como vemos, todo el desarrollo analítico del cálculo de las celosías se realiza en la segunda mitad del siglo XIX y en especial en su último cuarto. Sin embargo, las estructuras en celosía, sobre todo las correspondientes a las cubriciones de las estaciones, se están construyendo desde mucho antes. Barthelemy Camille Polonceau, hijo del famoso diseñador del puente Carrousel (1834), proyectó en 1836 la cercha que lleva su nombre, una cercha isostática con elementos comprimidos de madera y barras metálicas tendidas (fig. 9.3). La realiza para cubrir una nave destinada albergar trenes en la línea París-Versalles-orilla izquierda. Con esta cercha se cubrieron multitud de estaciones cambiando las barras de madera por barras metálicas con luces que varían entre 15 y 40 m. Las estaciones de San Lázaro, Lyon Norte y Austerlitz (luz de 52 m) fueron de ese tipo. En España tenemos actualmente las estaciones del Norte de Madrid, de Valladolid o de Medina del Campo, entre otras muchas.

Sin embargo, la cubrición a dos aguas tiene antecedentes claros. La gran sala de Moscú (1817-1819) fue realizada por Agustín de Betancourt, tenía 50 m de luz y era de madera (fig. 8.1). La configuración de espesores de los cordones no se corresponde bien con el trabajo para el que están solicitados. Su configuración exterior se parece a la de una viga triangulada.

De la misma manera, los ingleses en la Euston Station (1835-38), con luz de 24 m, utilizan unas vigas triangulares suficientes, pero no muy correctas desde un punto de vista resistente. Mantenerse en el concepto viga para las cubiertas los llevó a desarrollar una bonita solución en la Lime Street Station (1847-49), con una luz de 53 m, obra de Richard Turner, formidable ingeniero que a continuación construyó la estructura del Crystal Palace de J. Paxton (1851) y previamente había realizado el invernadero de Kew Garden. Si bien no eliminaba el conjunto de barras que tanto molestaba en las cerchas de Polonceau, la curvatura del cordón inferior disimulaba el aspecto. Posteriormente se ha plasmado mucho esta solución, en la cual el forjado salta del cordón inferior al superior, evitándose la visión del conjunto de barras (fig. 9.4).

Una derivación de la cercha de Polonceau la encontramos en la estación del Este de París (1849-1853). En lugar de ser recto, su cordón superior es curvo, formando una aparente bóveda, cuando en realidad mantiene el sistema de tirantes que controlan las deformaciones horizontales de las bóvedas y los movimientos transversales (fig. 9.5).

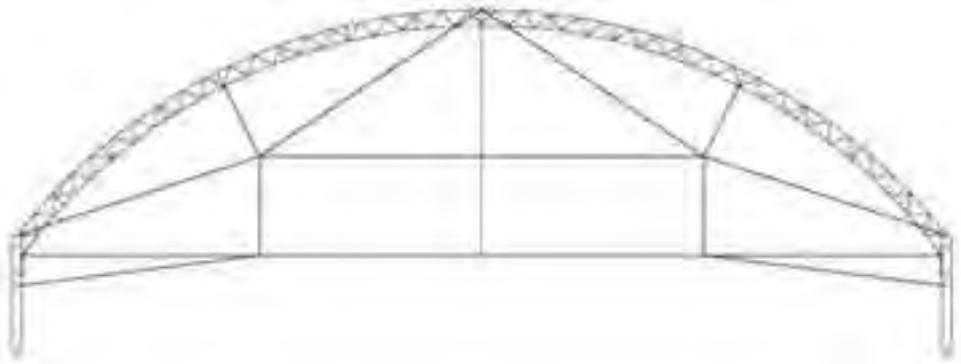
La utilización de cerchas Polonceau y sus derivaciones fue muy frecuente. No obstante, de cara a la opinión pública se consideraba una solución a evitar, siendo la eliminación de los tirantes el primer objetivo por conseguir. La primera cubierta en arco, y además de muy grandes dimensiones, es la estación de San Pancrancio de Lon-



9.4. Cercha biapoyada en celosía de la Lime Street Station, con luz de 50 m (1850): Richard Turner, diseñador con Joseph Paxton del Crystal Palace de Londres, construyó esta formidable viga, totalmente articulada y que eliminaba la fea apariencia (entonces) de los tirantes metálicos de las cerchas Polonceau. Una realización realmente formidable.

dres (1863-69), de 73 m de luz y una sección transversal en arco en celosía apuntada y biarticulada con un tirante transversal bajo las vías.

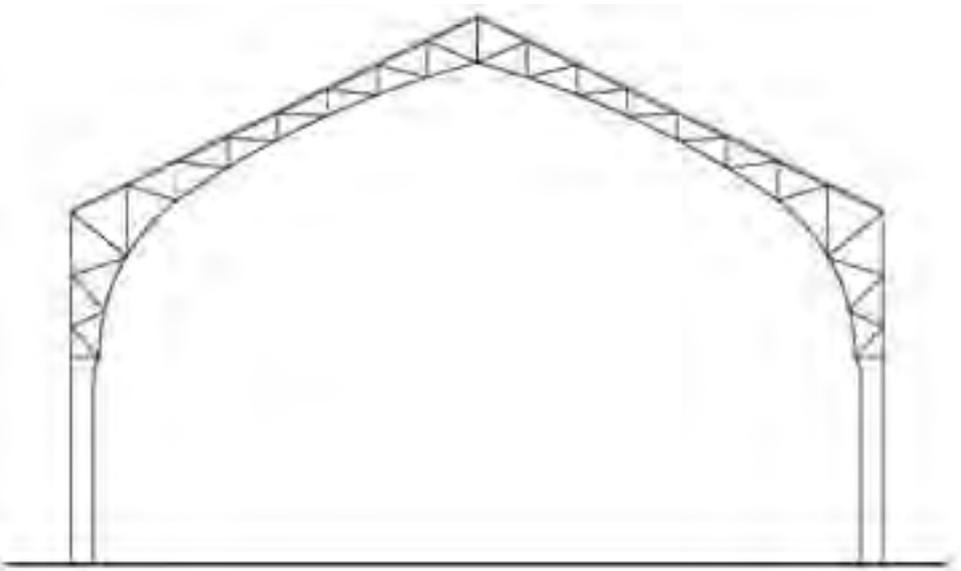
Los franceses, en la Exposición Universal de 1878, para su Galería de Máquinas, diseñan una extraña estructura que ha sido utilizada en muchas de las estaciones españolas (fig. 9.6). Henry de Dion, el proyectista, hace un pórtico empotrado en la base. En la parte inferior está constituido por pilares verticales de chapa, en sección doble T, que a mitad de altura, a través de un pequeño capitel ménsula, se convierte en una viga en



9.5. Celosía curva atirantada a la manera de las cerchas de Polonceau: Sección transversal de la estación del Este de París (1849-53).

celosía apuntada. Es una estructura difícil de calcular, muy hiperestática, en un momento que los procedimientos de Bresse y Mohr están aún en gestación.

Esta configuración, tan extraña, es consecuencia de querer eliminar el tirante de la base de una celosía curva en arco; para ello la empotra en un pilar vertical rígido. En realidad, lo que hace es un pórtico de mucha flecha, con lo que los empujes horizontales se reducen sin producir grandes movimientos longitudinales ni esfuerzos. Las estaciones de Delicias y Atocha de Madrid utilizan esta configuración.



9.6. Pórtico tipo de Henry de Dion: Diseñado para la Exposición Universal de París de 1878, se utilizó para cubrir muchas estaciones, entre ellas las de Atocha y Delicias de Madrid.



9.7. Pórtico transversal triangulado de 112 m de luz: *Corresponde a la Sala de Máquinas de la Exposición Universal de París de 1889.*

Un paso decisivo, mucho más lógico, se lleva a cabo en la Sala de Máquinas de la Exposición Universal de 1889, que cubre una luz de 112 m. Dutert y Contamin hacen unos pórticos triarticulados isostáticos con elementos en celosía. Esta solución se utiliza también en la estación de Valencia y la Término de Barcelona.

III

ESTÉTICA

La apreciación estética de las obras es algo relativo, dependiendo del planteamiento cultural en vigor. Para un hombre de cultura clásica, educado en la arquitectura que se realiza hasta el neoclasicismo del siglo XIX, cualquier manifestación de la construcción con fundición o con acero era algo que nada tenía que ver con el arte. El arte tenía patrones, medidas, límites establecidos por la Academia a los que había que ajustarse para ser tenido en cuenta. Y daba igual que se tratase del Museo del Prado o del Banco de España en Madrid. Lo mucho que se había logrado a lo largo de los siglos con la piedra y la compresión, como esfuerzo fundamental, como elemento básico de configuración, hace que los hombres cultos y preparados no tengan ojos para apreciar las obras realizadas con un material que resiste a la compresión y a la tracción y, sobre todo, que se obtenía en elementos lineales, no máscicos.

En su discurso de ingreso en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, Juan de Dios Roda y Delgado («Cuál es y debe ser el carácter propio de la arquitectura del siglo XIX», 1882), después de una negación total de la estructura metálica como posibilidad artística, termina diciendo: «La industria matará al arte: porque sería tanto como decir que la materia había triunfado del espíritu, que la belleza había huido del mundo...».

Las realizaciones de los ingenieros necesitaban ojos nuevos capaces de apreciar, de distinguir entre las nuevas manifestaciones espaciales obtenidas en estaciones de ferrocarril, mercados o palacios de exposiciones. Y esto siempre ha sido así. Cuando lo nuevo irrumpe no es comprendido, y no solo eso, es tachado de bárbaro, brutal y claramente inadecuado, solo apto cuando está dentro del marco de lo útil y provisional. Y esto le pasó a las manifestaciones de los ingenieros, los cuales respondieron en una doble dirección.

Los ingenieros, indiferentes a las consideraciones estéticas clásicas, que es lo que enarbolan los arquitectos como lo sustancial e importante, siguen su camino produciendo puentes, estaciones, etc., según les dicte su mejor entender. Solo queda para ellos, como guía, la «rectitud en el concebir», como diría Heidegger.

Pero existen, entonces y también ahora, los ingenieros pesarosos por la falta de sensibilidad estética de sus compañeros. Se afirmaba que en el siglo XIX pocos hicieron caso al problema estético del diseño de puentes, se lamentaba la oportunidad perdida de lograr un planteamiento artístico y, finalmente, se consideraba que los ingenieros del siglo XIX habían despreciado el diseño creativo de las estructuras, la búsqueda de la perfección formal y estética de estas, así como su adecuación al paisaje. Grave error, no podemos estar más en desacuerdo con esas manifestaciones.

Para las nuevas formas que el ingeniero ha inventado, creado y configurado no hay estética donde mirar, no existen ni pueden existir referencias. Las estéticas nunca son previas, son el resultado, con el tiempo, de ver, de comparar, de calificar, de comprender lo construido. Y se empieza a distinguir de entre todas las cosas lo ejemplar, lo mejor, aquello que sirve de guía para el concebir de los otros. Y se va creando una estética nueva, la estética del hierro y el acero, total y absolutamente distinta a la de la piedra.

Entre los Inválidos de Soufflot y la Sala de Máquinas de Contamin hay tales diferencias que aquellos ojos entrenados en lo antiguo alaban solo a los Inválidos y denigran la Sala de Máquinas. Los ojos nuevos acentúan su apreciación por la Sala de Máquinas y Soufflot cae en lo carente de significación.

No hay que culpar a los que solo apreciaban lo clásico en piedra. Solo hay que culparlos cuando lo nuevo empieza a tomar constancia y siguen empeñados en negarlo. Siempre ha pasado algo parecido con el arte ante lo nuevo; solo algunos empiezan a ver y generalmente son los no expertos.

¿Podríamos decir que las grandes estaciones de ferrocarril de finales del XIX son definitivamente obras de arte? ¿El puente del Garabit de Eiffel es mejor que el puente de Alcántara (España)? No, en absoluto. Pero de lo que sí es uno responsable es de no apreciar lo que se debe apreciar en el tiempo que le ha tocado vivir. La arquitectura y

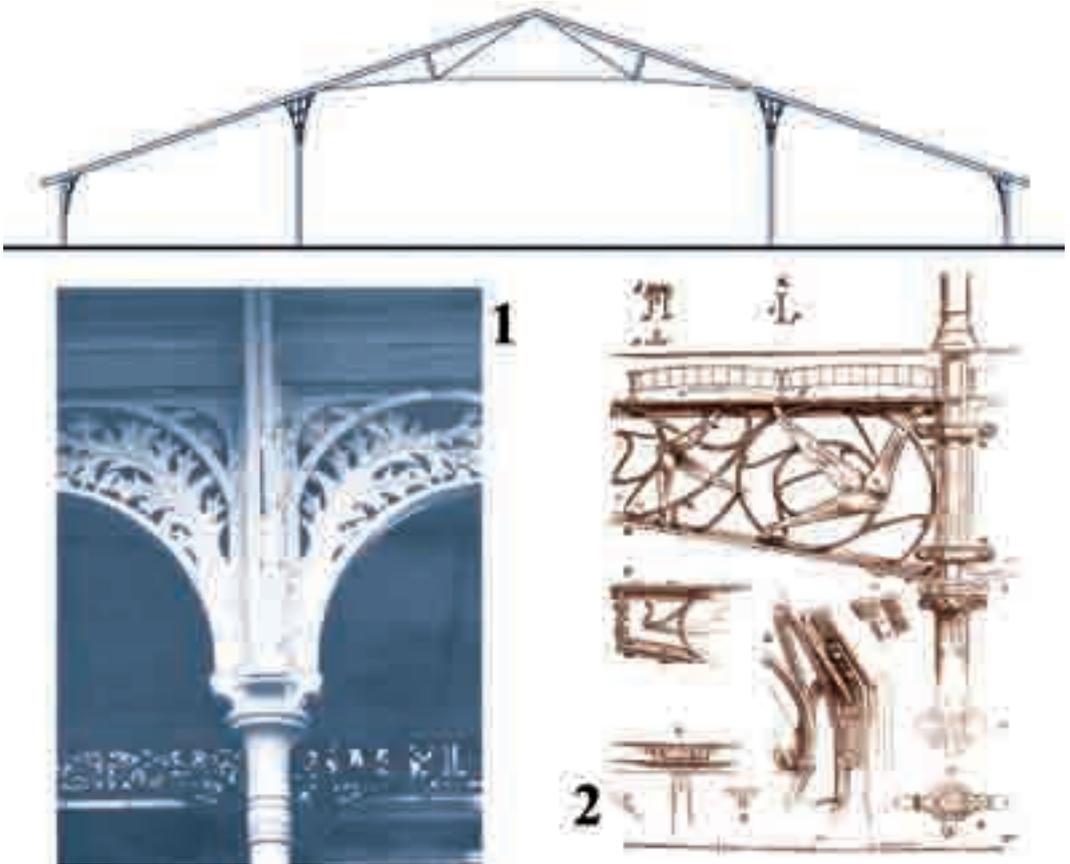
las personas cultas estuvieron demasiado tiempo, casi cien años, sin entender lo que había de artístico en la construcción de acero y sin darse cuenta de que lo significativo había cambiado.

No hay mejor elemento a considerar que las estaciones de ferrocarril para entender todo este cúmulo de sinsentidos que la falta de penetración de los hombres cultos llegó a producir. Estas construcciones tenían una configuración muy simple. Una gran cubierta a la que se adosaba un edificio para viajeros a un lado, o uno a cada lado del gran espacio central, o tres, formando entre todos una U, y esto solo para las estaciones terminales de línea. Prácticamente fue así en todas las estaciones españolas, y cuanto más empeño se produjo en construirlas para hacer los nuevos edificios representativos del progreso, mayores fueron los desaguisados. Cuanto más espléndidas y nuevas eran las grandes naves que alojaban los trenes, más se empeñaron los arquitectos de entonces, los Palacios, Grasset, etc., en rodear la nave principal de edificios clásicos, renacentistas, mudéjares o neoclásicos en el afán de embellecer algo, para ellos, impresentable, solo válido para albergar humo y locomotoras.

Hablar de la estética de las construcciones civiles del siglo XIX y principios del siglo XX es afirmar categóricamente la invasión de lo nuevo y espléndido sobre lo clásico y antiguo. Las estaciones son anacrónicas, bárbaras por el trabajo que los arquitectos adosaron al de los ingenieros. De esto se ha escrito, pero no bastante. Los ingenieros tenemos todo el derecho a rechazar rotundamente el trabajo de los profesionales que no supieron ver ni entender el progreso. Por esta razón establecer un primer juicio estético sobre las construcciones civiles de la segunda mitad del siglo XIX y principios del XX es mandar a la basura el sinsentido y anacronismo del añadido que los arquitectos hicieron al trabajo de los ingenieros, al formidable universo formal que construyeron siguiendo su propio camino. El gran Charles Garnier, arquitecto de la Ópera de París y uno de los más considerados, decía que «el hierro es un medio, nunca será un principio», afirmando «la impotencia del hierro a realizar por sí mismo una revolución artística», o concluyendo: «el Hangar: he aquí el destino del metal». No entendía las posibilidades del hierro y el acero que con profusión utilizó en su Ópera.

Hasta bastante más tarde no vieron que muchos puentes, las naves de estación, los palacios de exposiciones, etc., eran obras bellísimas. Pero si entramos con más detalle en los problemas estéticos pequeños de las obras de los ingenieros, veremos que también existe en ellos una contaminación por la estética oficial que obligaba al adorno en piezas, encuentros que poco tiempo después fueron desechados.

Los pilares de fundición fácilmente se proveían con capiteles clásicos para establecer su contacto con las vigas de metal. El capitel es un sinsentido desarrollado en Grecia que realiza en la piedra el muy útil capitel de la construcción del templo en madera. Llega un momento en que el hecho de apoyar parece que debe hacerse a través de un capitel y para esto se utiliza la fundición, por la facilidad de su ejecución. De la misma manera se disponían, en algunos casos, ménsulas salientes de pilares para realizar el apoyo de las grandes vigas en celosía que soportaban la cubierta: craso error es-



9.8. Sinsentido resistente: 1) Un procedimiento frecuente para reducir la luz de la cubierta era disponer ménsulas sobre las pilas, que también se utilizaban como soporte de adornos múltiples; 2) El modernismo «creó el horror al vacío» y las estructuras debían ser adornadas con todo tipo de motivos ornamentales, para completar espacios que a sus ojos estaban vacíos.

tructural, pues esta disposición introduce una flexión importante en el pilar que se evitaría totalmente dándole un poco más de luz a la cercha (fig. 9.8.1). Pero para la visión estética del momento, ese capitel servía de elemento de adorno para todo tipo de motivos decorativos, y llega al sùmmum con el modernismo a finales del siglo XIX. También las propias vigas eran decoradas con todo tipo de motivos florales para alejar la desnudez del hierro de la visión cercana de gente no educada ni acostumbrada.

Pero a finales del siglo la deslumbrante belleza de las grandes construcciones de hierro y cristal comienza a actuar sobre el mundo de la arquitectura, que empieza a cambiar, con reticencias muchas veces. Aligera el muro de piedra del soporte, sustituyéndolo con la liviandad de la columna, que también muchas veces trata de ocultar recubriéndola de piedra. Esto también era muchas veces un problema estético por la

distancia existente entre el elemento soporte esbelto de hierro con las proporciones conseguidas por la piedra a que estaban acostumbrados.

En este sentido, los arquitectos e ingenieros de la Escuela de Chicago cambian y llegan al rascacielos para rehabilitar la ciudad después del gran incendio. Y el hierro y el acero se erigen en elementos fundamentales de la construcción, algo que normalmente se oculta.

Había existido un precedente notable del uso del hierro, la fundición y el acero por el arquitecto Henri Labrouste en la formidable Biblioteca Nacional de París, de 1863. Con unas columnas esbeltísimas coronadas por un pequeño capitel sobre el que descansan arcos, de inercia considerable, estos soportaban cúpulas también metálicas, resultando un conjunto de una elegancia extrema.

Después del éxito del Crystal Palace de Paxton (1851), las exposiciones universales acometen todas sus prestigiosas construcciones con hierro y cristal, y eso tanto en Europa como en América. A los palacios de cristal les pasa como a las estaciones: que se rodean por formidables fachadas de fábrica. Lo que descubren también es que con hierro y acero podían hacer la arquitectura monumental clásica de piedra, pero infinitamente más grande y esbelta. El mismo Labrouste, en su Biblioteca Nacional, utiliza metal para desarrollar un espacio clásico.

En los grandes almacenes de París, a finales del siglo XIX, se utilizan las enormes posibilidades de los metales con gran exuberancia de formas, luces y decoración metalizada. Esto, que pretende ser lo mismo de siempre, empieza a ser algo distinto que fructificará espléndidamente en el siglo XX.

IV

EJEMPLOS ESPAÑOLES

Todas estas características nuevas se reflejan en las construcciones españolas, muchas veces realizadas por ingenieros franceses o ingleses. Con la ayuda de ejemplos significativos, analizaremos brevemente el mundo de las estaciones de ferrocarril, de los mercados, el Palacio de Cristal del Retiro madrileño y unos faros.

IV.1. *Estaciones de ferrocarril*

Se han elegido tres estaciones, en función de las características resistentes de su estructura. La de Medina del Campo, la de Atocha de Madrid y la Término de Barcelona.

La estación de *Medina del Campo* pertenece a la «Compañía de Caminos de hierro del Norte de España» y los primeros proyectos se inician en 1857. La así llamada «estación vieja» proyectada por Rivón y dotada de edificio de viajeros, dos muelles de mercancías y una cochera para locomotoras se inauguró en 1860. Pero el enorme tráfico que soportaba obligó a ampliarla, lo que condujo al ingeniero de la compañía Vicente Sala a proyectar en 1896 una grande y monumental estación que se inauguró en 1902.



9.9. Estación de Medina del Campo: 1) Vista frontal; 2) Cerchas Polonceau y arriostramiento longitudinal; 3 y 4) Dibujo y realización de los nudos de coronación; 5 y 6) Dibujo y realización de los enlaces entre el tirante y la viga principal de las cerchas Polonceau.

Esta consta de un gran edificio de fábrica de $102 \times 17,5$ m formado por dos edificios principales de dos plantas colocadas en los extremos y un cuerpo central de una sola planta. Su composición y ejecución carece de interés y responde a los edificios clásicos de la época. La estación de Medina del Campo, junto con la de Valladolid, Málaga, Príncipe Pío (Madrid), Alicante y otras resuelve la cubrición del gran espacio central por cerchas Polonceau.

La marquesina de la estación tiene una longitud de 102 m y una anchura de 35 m (356.000 kg de peso) y está cubierta por cerchas Polonceau de 32,34 m de luz. El cordón superior, que forma el soporte a dos aguas de la cubierta, es una viga triangulada

de 0,75 m de canto. Sus 17 m de luz se soportan por tres «ballestas» Polonceau, la primera y la más importante apoya el centro del cordón superior y dos más laterales crean apoyos a cuartos de la luz del cordón superior. La separación entre cuchillos es de 11,52 m. La viga en celosía que constituye el cordón superior es en doble T y está constituida por una chapa central y las cabezas formadas por dos angulares y chapa superior e inferior y vinculadas por remaches, configuración de uso normal en la confección de vigas de la época (figs. 9.9.3 y 4).

Otra particularidad, que resulta muy costosa en la ejecución de las vigas Polonceau de la época, es la realización de articulaciones en algunos de los nudos de la estructura, para adecuar la realidad de la obra a las hipótesis de cálculo. Toda articulación se efectúa por la interposición de bulones (la articulación se hace con el artificio de llegada al bulón de doble chapa y salida con chapa única). Y esto ocurre, por ejemplo, en los enlaces de los tirantes principal y secundario con los cordones superiores principales (figs. 9.9.5 y 6). En otros casos, no en este, los puntales comprimidos de la celosía tenían un diseño primoroso y adornadísimo en fundición y naturalmente biarticulados. La marquesina fue construida en hierro fundido y cristal en los talleres de la empresa Material para Ferrocarriles y Construcciones (popularmente conocida como «Can Girona») de Barcelona, y su tiempo de montaje era superior a unos tres meses.



9.10. Cubierta de la estación de Atocha: Construida por la Société Anonyme de Construction et des Ateliers de Willebroeck (Bélgica), por encargo de la compañía MZA (Madrid, Zaragoza, Alicante), 1888-1892.

La estructura de la estación Príncipe Pío es un híbrido entre una cubierta Polonceau clásica y una cercha de Henry de Dion, pues lo que en esta última es rígido —pilar vertical—, necesario para controlar como pórtico las deformaciones horizontales de la cubierta, en aquella es muy flexible y el control de las deformaciones lo realiza el tejido Polonceau que lo acompaña.

La estación de *Atocha* (Madrid) fue construida entre 1888 y 1892 por el tándem constituido por el arquitecto Alberto de Palacios, que se encargó del edificio de viajeros y servicios, y el ingeniero Henri Saint-James, que diseñó la gran nave central. Este utilizó el diseño de nave sin tirantes ideado por Henry de Dion, con cuyo procedimiento se acababa de terminar la estación de Delicias en Madrid.

La nave central tiene 152,9 m de longitud, 37 m de altura y 48,76 m de luz, lo que le confería una dimensión inusual, por lo grande, de entre todas las construidas (fig. 9.10). Junto a los 10 pórticos transversales, la cubierta se completa por 12 vigas longitudinales en celosía de 17 m de luz. Sobre esta cuadrícula, pórticos y vigas longitudinales, se dispone otro tejido secundario en cuadrícula que soporta los elementos de cerramiento, formado por chapa de hierro ondulada y galvanizada y cristales estriados. Concebida como estación término de la compañía MZA (Madrid, Zaragoza, Alicante), no fue sino la culminación de un proceso de construcción de naves de madera primero (incendiada en 1864) y de hierro después (con diseño de cerchas Polonceau) que fueron destruidas. Poco antes del proyecto de Palacios, el también arquitecto Gerardo de la Puente realizó un proyecto similar, en 1883, en el cual la cubierta estaba resuelta por vigas curvas, de canto curvo, como las de R. Turner en la Lime Street Station, de 53 m de luz, en 1848 (fig. 9.4). Finalmente se realizó la estación actual mucho más imponente y grande en superficie que las anteriores.

La construcción de la estación se llevó a cabo por la Société Anonyme de Construction et des Ateliers de Willebroeck (Bélgica), que envió a Madrid a realizarla al ingeniero Léon Beau. Para ello utilizó un gran andamio de madera que soportaba la construcción parcial de los pórticos realizada por tramos longitudinales elevados con grúas. Los pórticos contruidos por pilares de chapa en la parte inferior, con sección doble T roblonada, estaban exentos, sin apoyarse ni formar parte del muro de ladrillo.

El edificio de Palacios que rodea a la gran nave central pertenece al eclecticismo de la época. En el mencionado discurso de Juan de Dios de la Roda y Delgado se afirma que «eclectico también puede ser el arte, aun mezclando en un solo edificio elementos de estilos diversos, pero en saber combinarlo de modo que resulte un todo homogéneo y armónico está el secreto, que solo al verdadero talento artístico es dado penetrar». Todo un mensaje «acorde» con esa formidable nave de la estación. Lo cierto es que, aunque estamos a finales del XIX, ni Palacios ni la arquitectura de la época sabían hacer otra cosa.

La estación *Término* (o de Francia) de Barcelona se sale cronológicamente del siglo XIX, ya que fue construida en 1929, coincidiendo con la Exposición Universal de Barcelona del mismo año. Pero como estructura e idea general es claramente un edi-

ficio del siglo XIX de excelente factura. También, como en Atocha o Medina del Campo, se realiza derribando una estructura anterior cuya estricta ejecución y tamaño no resolvía los problemas de uso ni los formales y de ornamentación que la sociedad catalana exigía en aquel tiempo.

Su planta sigue la correspondiente a la antigua estación, formada por dos naves, también en curva, lo cual contribuye de una manera muy significativa a su belleza. El



9.11. Estación Término (o de Francia) de Barcelona: *Se producen tres hechos que la convierten en especialmente atractiva. Con dos naves, ambas están en curva y los cuchillos que la soportan abandonan la disposición de Henry de Dion. Se emplea la mucho más eficaz y lógica de la Sala de Máquinas de París, en la cual la triangulación de la celosía llega hasta el suelo. El enlace entre los pórticos de cada una de las naves está perfectamente resuelto. El proyecto de la estructura se debe al ingeniero industrial Andrés Montaner i Serra, de La Maquinista Terrestre y Marítima, la empresa constructora.*

edificio anexo, como corresponde a una estación término, es en U y el arquitecto fue Pedro Muguruza. El proyecto de la estructura y la construcción se debe a La Maquinista Terrestre y Marítima.

La longitud de la gran nave tenía 195 m, de los cuales 95 m eran en curva y la anchura de las dos naves sumaba también 95 m. Sobre la cubierta se discutió ampliamente. Estaban los que querían realizar una sola nave monumental y los que pretendían hacer tres naves, pero finalmente progresó la de dos naves, pues en este caso había posibilidad de construir una mientras la segunda estaba en servicio (fig. 9.11).

La estructura elegida está construida por pórticos curvos dobles, con tres patas trianguladas, de 47,15 m de luz cada uno y con una altura sobre los andenes de 26,5 m y de 16,5 m para el arranque de las chapas onduladas de amianto-cemento que cierran la cubierta. El número de pórticos es de 13 y su separación de 15 m.

Es una estructura mucho más moderna que la de Atocha, recogiendo ya los adelantos de la Sala de Máquinas de París de 1889, mejorándola al eliminar la articulación de clave y suprimiendo la disposición híbrida de la solución de Henry de Dion, pues elimina el pilar vertical embutido en la fábrica al prolongar la celosía de la cubierta hasta la articulación.

Los trece pórticos dobles no eran iguales, pues, si los seis primeros corresponden con el descrito, los siete últimos, manteniendo la misma altura, reducen gradualmente un poco su luz, por el trazado curvo y más cerrado de las vías. Es una estación bellísima: los pórticos curvos están muy bien diseñados y la curva en planta embellece el conjunto de una manera única y original.

El montaje de la cubierta se realizó en dos fases. Primero se construyó la nave situada al norte, colocando las cerchas con ayuda de una cimbra metálica, y después las cerchas del lado sur. Las alas de los edificios de viajeros debieron de estar ejecutadas antes de la construcción de las cerchas-pórticos. El proyecto de la cubierta metálica lo hizo la misma empresa constructora, La Maquinista Terrestre y Marítima, más precisamente el ingeniero industrial Andrés Montaner Serra.

El vestíbulo, obra preciosa de Pedro Muguruza, tiene una longitud transversal a la estación de 78,8 m y una anchura de 17 m. Está formado por tres cúpulas enlazadas entre sí de hormigón armado (claro indicador de que con esta construcción estamos en el siglo xx) y revestido de yeso y materiales nobles. Para construir el vestíbulo se realizó un concurso específico en el que quedaron dos finalistas, el arquitecto Koeller, que quería dotar a Barcelona con grandes adornos costosísimos egipcios, y Pedro Muguruza, mucho más sobrio y quien por aquella época estaba realizando reformas en las escaleras del Museo del Prado y el diseño del Palacio de la Prensa de Madrid.

La *estación del Norte* de Valencia se encuentra situada en el centro de la capital levantina. Fue construida entre 1906 y 1917 bajo proyecto del arquitecto Demetrio Ribes. Como muchas otras estaciones de la época, se constituye merced a una gran nave central, donde se alojan los trenes, y un gran edificio de servicios, en forma de U, de estilo modernista y profusamente decorado.

Diseñada por el ingeniero de caminos franco-español Enrique Grasset y Echeverría, la nave principal tiene una superficie de 196×45 m, resistida por pórticos transversales de 45 m de luz. Su construcción y montaje se confió a los talleres de F. Grasset y Cía. de Madrid, propiedad del hermano del ingeniero, que utilizó una potentísima grúa diseñada ex profeso. La estructura de los pórticos transversales en celosía, derivados de la Sala de Máquinas de París, están biarticulados pero son continuos en coronación, lo cual es un adelanto notable respecto a la mencionada Sala de Máquinas. Está muy bien resuelta la terminación de la nave, que cierra la bóveda en «rincón de claustro» cuando llega al edificio de la fachada. Se realiza con pórticos diagonales en las esquinas que se interseccionan en clave con uno de los pórticos «estándar» transversales.

IV.2. Mercados

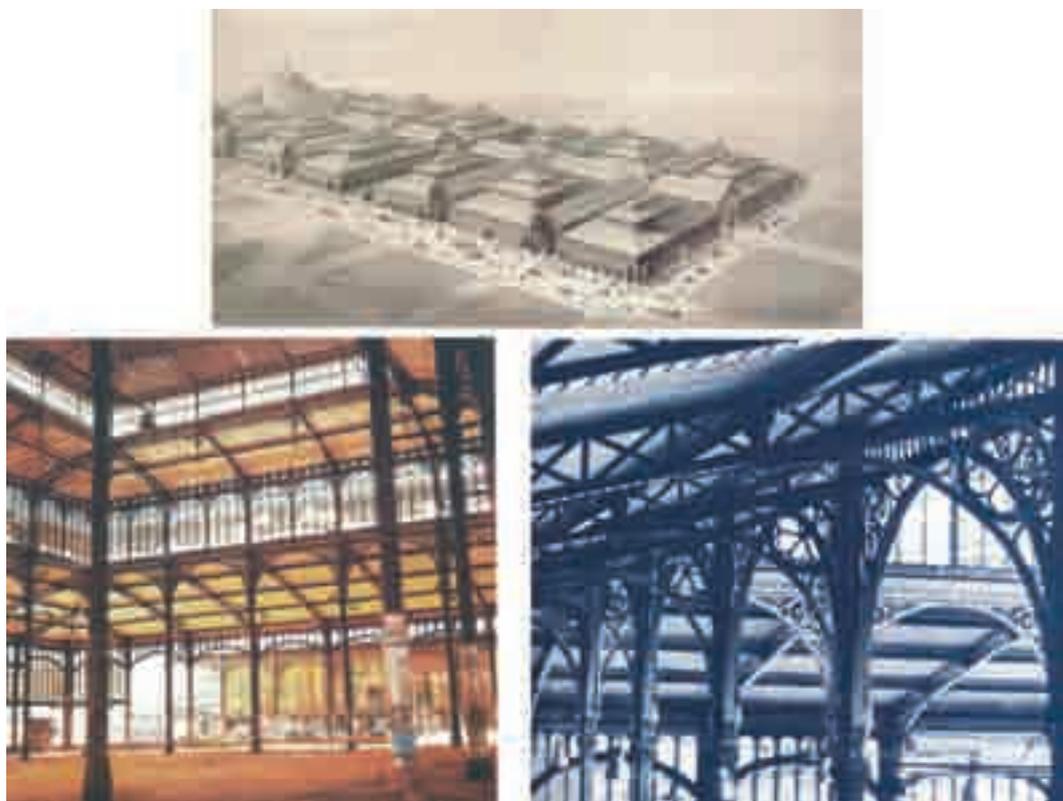
Las lamentables condiciones higiénicas en que se desarrollaban las operaciones del mercado de alimentos, generalmente en tenderetes dispuestos en las plazas públicas, fueron objeto de preocupación para los ayuntamientos durante décadas. En 1858 se pone en servicio Les Halles Centrales en París (fig. 9.12), con proyecto de Víctor Beltrán, que servirá de ejemplo para la construcción de los mercados para toda Francia y Europa en los años sucesivos. Se realizaron 800 mercados en Francia inspirados en el de París.

Cumplían tres condiciones básicas: primero, circulación fácil, con accesos señalados, lo que facilitaba su funcionalidad; segundo, una buena iluminación; y tercero, una buena ventilación que mejoraba las condiciones higiénicas de almacenamiento y conservación de los alimentos. Se instalaban en plazas (plaza del mercado) y su estructura constitutiva era muy simple, un recinto cerrado con puntos de venta al interior, normalmente, cuyo perímetro se cerraba con fábrica o persianas normalmente de cristal, madera, zinc o acero. Generalmente en el interior se establecía una disposición de techos similar en todas ellas. La cubierta se elevaba en las zonas centrales, dejando paso a la luz y permitiendo la ventilación en el interior.

Prácticamente, hasta el último tercio del siglo XIX no se realizan mercados cubiertos en España (en Madrid, Cebada y Mostenses, 1860, y Olavide, 1912; y en Barcelona, Borne, 1874, y San Antonio, 1876). Pronto se siguieron por toda España planteamientos más o menos similares, imitando a Les Halles, salvo la excepcionalidad del Mercado Central de Valencia, que ya es del siglo XX, pero que presentamos también.

IV.2.1. Mercados de Madrid

La estructura resistente de los mercados era extraordinariamente más simple que las de las estaciones de ferrocarril, pues sus exigencias de luz eran bastante pequeñas. Se establecen una serie de pórticos transversales soportados por pilares cilíndricos de fundición con vigas metálicas en celosía. Una serie de vigas metálicas, también en celosía, que a modo de viguetas del forjado saltaban entre las vigas o los arcos que unían entre sí los soportes. Normalmente, las luces no pasaban de 12 a 15 m. A veces,



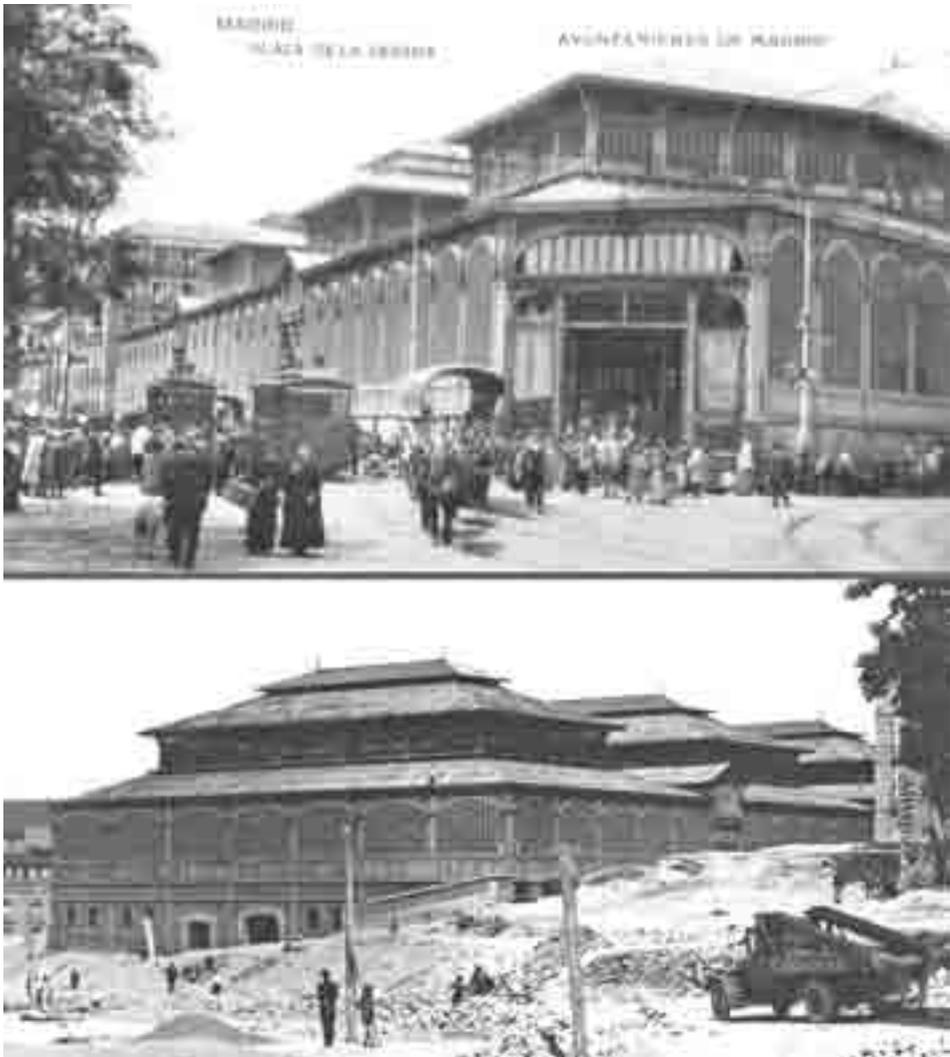
9.12. Mercado de Les Halles de París: Estaba formado por 12 pabellones, separados entre sí por los accesos. La estructura es muy simple, con una serie de pórticos transversales que soportan unas vigas longitudinales, las cuales soportan el forjado. Los pórticos longitudinales son solo de arriostramiento, con una arcada múltiple provista de adornos en los tímpanos. Esta misma estructura se utiliza en los madrileños mercados de la Cebada y los Mostenses, de construcción francesa.

para cubrir la cubierta sobreelevada con lucernario, se acudía a pórticos simples con pilar vertical a lo largo del ventanal y triangulación de las esquinas para soportar la flexión debida al efecto pórtico (por ejemplo, véase la fig. 9.19). Todas las entradas principales de Les Halles de París estaban resueltas por este procedimiento. El arriostramiento longitudinal estaba muy adornado.

Una crujía y otra podrían tener distinta altura, y se aprovechaba para disponer lucernarios y ventilación a través de ellas. Los pilares entre crujías subían hasta la altura mayor, donde de nuevo se producían las vigas metálicas para cerrar la próxima crujía. Muy frecuentemente existía una crujía central de mayor luz que podía ser cubierta por una estructura a dos aguas que sería soportada por cercha Polonceau o trianguladas normales. También era frecuente disponer en el centro una cúpula normalmente octogonal, marcando en la distribución general el concepto del centro de la plaza.

Los mercados *de la Cebada* y *de los Mostenses* se deben al arquitecto Mariano Calvo y Pereira, a quien le serían encargados en 1867. El mercado de la Cebada ocupará el espacio de la plazuela del mismo nombre y el de los Mostenses, el solar dejado por el convento de los Mostenses, derribado por los franceses durante su ocupación.

El mercado de la Cebada, inaugurado en 1875, estuvo formado por una serie de pabellones, separados entre sí por los accesos. Como se ha indicado, estuvieron cons-



9.13. Mercados madrileños: 1) de la Cebada (vista exterior de las persianas que cerraban el edificio); 2) de los Mostenses. Encargados los proyectos en 1867 al arquitecto Mariano Calvo y Pereira, la construcción comenzó en 1870, siendo inaugurados ambos el mismo día en 1875.

tituidos por varias crujías paralelas de igual o distinta altura, separadas entre sí por una arcada múltiple longitudinal formada por pilares de fundición y una arquería superior, pequeña de luces, con una gran profusión de adornos en los tímpanos, y con o sin vigas superiores. Entre estas arquerías paralelas se disponía un forjado metálico transversal. Su estructura era prácticamente igual a la de Les Halles de París e incluso fue fabricada en Francia.

Los pabellones así formados en número de 10 (se añadieron dos más en 1936) se separaban entre sí por los pasillos de circulación que aparecían al exterior en forma de entradas monumentales. Cubrían una superficie irregular de 6.000 m² bien ordenada por los pabellones que presentaban fachadas continuas al exterior (fig. 9.13.1).

La cubierta entre vigas secundarias era de zinc. El mercado tenía dos plantas, un gran sótano de almacenaje y una planta principal de 15 m de altura. La estructura perimetral se apoyaba en un zócalo de ladrillo. Los paramentos exteriores se cerraban con persianas fijas de vidrio y las cubiertas eran de zinc y vidrio. En el centro había una cúpula de 28 m de altura. Las fachadas dejaban ver la doble planta del edificio, de fábrica la inferior y en una modulación de arcos continuos, con persianas, la superior. Era un planteamiento arquitectónico y compositivo con una presencia generalizada en prácticamente todos los mercados. En algún caso el cierre podía realizarse de cristal. El mercado de los Mostenses era básicamente igual al de la Cebada. Todas las piezas fueron importadas de París (fig. 9.13.2).

Un mercado precioso, derribado no hace mucho tiempo, el de Olavide, se encontraba situado en la plaza octogonal del mismo nombre. La planta de este mercado también era octogonal, dividida en tres niveles de hexágonos concéntricos que se separaban para alojar a los lucernarios y a la ventilación. La estructura era la clásica con filas de pilares de fundición instalados en la separación entre hexágonos de distinta altura y vigas armadas metálicas entre los pilares.

IV.2.2. Mercados de Barcelona

En Barcelona se desarrollaron y aún se conservan varios mercados de la época: del Borne (1876), de la Concepción (1888), de la Barcelonesa (1883), de San Antonio (1882), de Santa Catalina (1848, reformado totalmente por E. Miralles en 2003), de la Boquería o San José, de Sants, o de Hostafrancs, entre otros.

El *mercado del Borne* se inauguró en 1876 con proyecto del arquitecto Antoni Rovira i Trias. Sin embargo, se atribuye sobre todo al maestro de obras Josep Fontseré i Mestres el proyecto y la dirección, y la estructura al ingeniero Josep M.^a Cornet i Mas, y fue realizada por La Maquinista Terrestre y Marítima.

Las dimensiones se inscriben en un rectángulo de 138 × 58 m y está formado por tres naves longitudinales, de 28 m de luz la central y 18 m de luz las dos laterales. En la mitad de su longitud existe un crucero transversal, también de 28 m de luz, que desemboca en la calle en dos portadas monumentales. En la intersección entre las naves longitudinal, central y el crucero se instala una cúpula octogonal de 30 m de diámetro rematada por una gran linterna octogonal.



9.14. Mercado del Borne de Barcelona: 1) Litografía de 1876 (Fuente: A. del CASTILLO: *La Maquinista Terrestre y Marítima. Personaje histórico*, Barcelona, 1955); 2) Estructura de cubrición de las naves longitudinales; 3) Cúpula; 4) Intersección entre la cúpula y las celosías transversales Polonceau; 5) Lateral. (Véase también un dibujo del natural de A. Rigalt, *La Ilustración Española y Americana*, 1876, en el volumen IV, p. 571, fig. 9.32). La estructura se debe al ingeniero industrial José M.^o Cornet y Mas, y fue construida por *La Maquinista Terrestre y Marítima*.

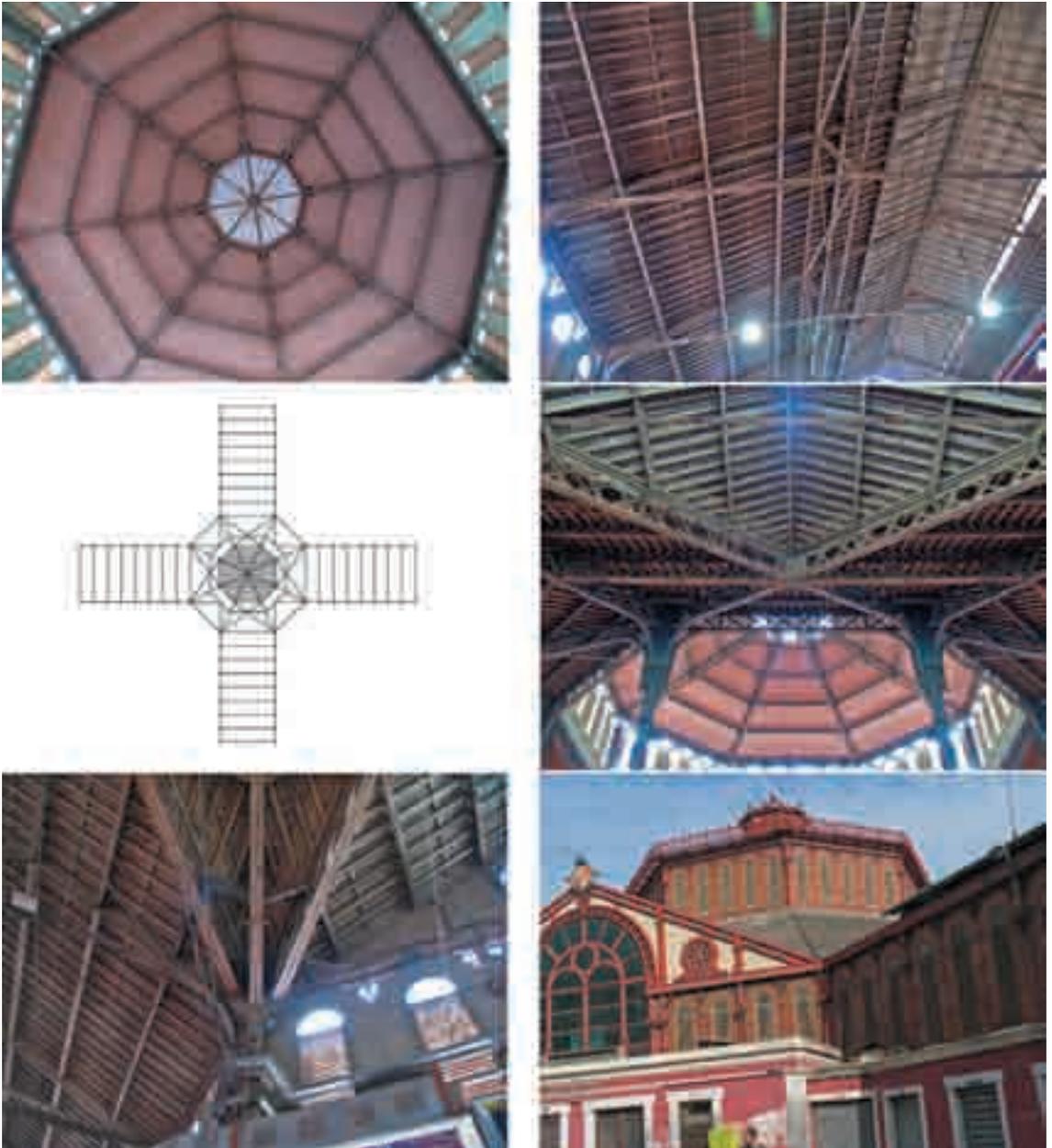
Las naves longitudinales de 28 y 18 m de luz se cubren con sendas cerchas Polonceau. Están formadas por perfiles que permiten una formación de los nudos más simple (fig. 9.14.2), arriostros entre sí, a la manera de la estación de Medina del Campo, por una viga en celosía a lo largo de la nave y situada en el puntal de la cercha Polonceau, que apoya el larguero principal en su centro. Longitudinalmente estas cerchas Polonceau transversales sirven de apoyos a una vigueta longitudinal que soporta la cubierta propiamente dicha. Situada en el crucero, la cúpula (fig. 9.14.3) está formada por 8 cuchillos radiales en celosía que se unen en cabeza por un octógono y consta de 4 vigas en celosía extendidas a lo largo de la cubierta. El empuje inclinado de las vigas se recoge en un zuncho perimetral que se soporta en 8 pilares verticales que llegan hasta el suelo.

Uno de los lados del octógono de base, paralelo a las cerchas Polonceau de las naves longitudinales, forma parte de una de estas, y el triángulo que queda entre el octógono y la última cercha Polonceau se cubre con una cercha transversal intermedia (fig. 9.14.4). La estructura del resto del crucero es similar a la de las naves longitudinales. El cierre lateral está constituido por un muro de fábrica con las correspondientes persianas de cristal (fig. 9.14.5).

Menos conocido que el mercado del Borne, actualmente en servicio, y más interesante es el *mercado de San Antonio*. Se configura a partir de un octógono central, la cúpula (fig. 9.15.1) está coronada por una linterna superior que se eleva a 27 m de altura. Esta cúpula se apoya en pilares verticales situados en las esquinas. De ella salen 4 naves, en cruz, radiales de 20 m de anchura y 40 m de longitud, resistidas por cerchas Polonceau similares a las que ya hemos visto, con un arriostramiento longitudinal, en celosía, para evitar la caída como fichas de dominó, sobre todo en la fase de construcción (fig. 9.15.2). Además, partiendo de los otros cuatro lados del octógono, se insinúa la salida de otras cuatro naves (se cortan rápidamente).

La unión entre la cúpula y las naves laterales en cruz se realiza por una curiosa estructura de vigas cruzadas (figs. 9.15.4 y 5). En las esquinas en que contactan dos de las naves que salen del octógono se produce una salida de 4 vigas, las que parten de la cúpula hacia las naves y uno de los apoyos de las vigas Polonceau de las 4 naves longitudinales. Este mercado se realizó bajo el proyecto del arquitecto del mercado del Borne, Antoni Rovira i Trias, y fue inaugurado el 23 de septiembre de 1882.

«La Boquería», formalmente *mercado de San José*, es un mercado de 65 x 78 m situado junto a las Ramblas de Barcelona. Está formado por cinco naves longitudinales con luces de 13 m y separación entre pórticos de 6 m. La estructura resistente es diferente a las de los mercados anteriores. Se trata de una serie de vigas en celosía transversales, de canto variable, separadas entre sí 6 m y con un forjado formado por viguetas paralelas a las grandes vigas transversales que se apoyan en puntos intermedios en las vigas longitudinales en celosía (fig. 9.16). Las vigas principales, que se producen idénticas en las 5 naves, se apoyan sobre unos pilares formados por dos angulares de una esbeltez asombrosa. Entre los pilares se disponen a su vez unas vigas en



9.15. Mercado de San Antonio de Barcelona (1888): 1) Cúpula central de figura octogonal, de 20 m de anchura; 2) Vigas Polonceau que cubren las naves longitudinales; 3) Planta general de las vigas; 4) Detalle al cruce de vigas; 5) Unión de vigas que partiendo del octógono de la cúpula configuran las salidas de las cuatro naves principales; 6) Vista de la cubierta, zona del octógono central. Fue construido por La Maquinista Terrestre y Marítima.



9.16. Mercado de la Boquería (o de San José) de Barcelona: *Cubierta a dos aguas, sustentada por vigas en celosía transversales, de canto variable.*

celosía de canto variable. El diseño es del ingeniero Miguel Bague, y el mercado se sitúa en la plaza neoclásica del arquitecto Mas i Vila.

IV.2.3. Mercado de Valencia

Diseñado en 1910, es un edificio enorme de 8.000 m² de superficie. Se debe a los arquitectos Alejandro Soler y Francisco Guardia, formados en Barcelona, colaboradores de Domènech i Montaner, que lo desarrollaron en estilo modernista. El elemento principal está formado por una nave longitudinal y un crucero transversal que se interseccionan en una cúpula central.

La nave longitudinal y transversal, al contrario de lo que pasaba en los mercados anteriores, tiene una estructura mucho más moderna. Se trata de unos pórticos transversales en celosía sin articulaciones intermedias, similares, aunque más estilizados, a los que se encuentran en la estación del Norte de Valencia. Está muy bien resuelta la cúpula central. Al contrario de lo que pasa en el mercado del Borne de Barcelona, esta cúpula carece de pilares perimetrales. El círculo de la base de la cúpula se recoge en 8 puntos intermedios, en la confluencia de 8 pórticos oblicuos, que salen de dos en dos de los pilares de la esquina de intersección entre la nave principal y el crucero, y se dirigen a los cuatro puntos donde se interseccionarían la coronación de la nave principal y el crucero con el círculo. Existen otros cuatro puntos intermedios apoyados sobre los pórticos principales.



9.17. Mercado Central de Valencia: 1) Interior; 2) Formidable resolución del sostén de la cúpula y el enlace de su estructura con las naves principales y del crucero, soportado por pórticos transversales triangulados y articulados en la base.

IV.3. Grandes invernaderos: El Palacio de Cristal

El Palacio de Cristal pertenece al tipo de edificio utilizado en los grandes invernaderos y en las exposiciones universales y que se prodigó con generosidad en países organizadores como Inglaterra y Francia. Grandes edificios configuradores de una manera nueva de estar se erigieron a lo largo del siglo XIX, el Crystal Palace de Londres (1851), de S. Paxton y R. Turner, y la nave invernadero del Kew Garden de Londres (1844-48), de R. Turner, ingeniero de enorme valía y penetración en el fenómeno resistente, en unos momentos extraordinariamente tempranos; por otro lado, el Grand Palais y el Petit Palais de París de 1900, con una estructura clásica y un prodigio de decoración interior, y la Sala de Máquinas de Contamin de 1889.

En España prácticamente no hay edificios de ese tipo, sobresaliendo el Palacio de Cristal del Retiro de Madrid, de Ricardo Velázquez Bosco, de 1887. Este arquitecto había realizado en 1883 para la Exposición de Minería, Artes Metalúrgicas, Cerámica y Cristalería el actual Palacio de Velázquez del Retiro de Madrid, bautizado así por el apellido del proyectista principal (no obstante, en ambos casos el diseño de la estructura se debe en parte a la participación del también arquitecto Alberto del Palacio). Este último edificio se recubrió en el exterior por una gran construcción en fábrica de ladrillo con planteamiento tradicional. Interiormente aparece la estructura metálica en arcos cerrada con vidrio.

Al mismo arquitecto Ricardo Velázquez se le encargó el Palacio de Cristal, para alojar las plantas y las flores llegadas de Filipinas y que debían permanecer vivas durante la exposición. Salvo el pórtico de entrada, formado por cuatro columnas jónicas más los dos cuerpos que constituyen el atrio clásico, el resto del pabellón es formidable y extraordinariamente bello. Cualquier sección transversal está constituida, de arriba abajo, por un pórtico, con dintel curvo en arco y pilas verticales que recorren el primer lucernario vertical. A continuación viene un semiarco que se prolonga en pilas verticales hasta alcanzar un zócalo inferior de ladrillo (fig. 9.18.2).



9.18. Palacio de Cristal del Retiro de Madrid (1887), diseñado por el arquitecto Ricardo Velázquez Bosco: 1) Planta en cruz incompleta, uno de los brazos está sustituido por el pórtico clásico de entrada; 2) Estructura interior; 3) Enlace de los arcos de la cubierta con el pilar vertical situado en el paramento de vidrio vertical. Arco y pilar forman un pórtico que traslada el empuje del arco a la parte inferior del vidrio vertical; 4) Solución de pórticos de esquinas; 5) Cúpula cuadrada que remata el Palacio de Cristal. Una estructura simple, fácil y bellísima; 6) Zócalo de ladrillo y sillería soportando la fachada de cristal del Palacio del Retiro. (Véanse el grabado de la época, de La Ilustración Española y Americana, y vistas complementarias en la fig. 2.4 del volumen IV de esta colección, p. 176).

En este palacio se resuelve la presencia del paño vertical superior configurando un pórtico que lleva el empuje horizontal de la bóveda a donde es contrarrestado de manera natural por la semibóveda inferior. Razón esta para la presencia del pórtico, cuya parte superior es el arco de la cubierta. Es como una pequeña estructura de Dion que descansa en los pilares de la parte inferior (fig. 9.18.3). La presencia de un momento significativo en el centro del arco superior y en la unión entre el arco y los pilares verticales se resuelve con mayor o menor fortuna con un doble arco vinculado entre sí y un elemento de considerable inercia en la parte vertical. El empuje horizontal debido a la presencia de la semibóveda inferior se traslada a la base de esta, que debe hacer pórtico con los pilares inferiores, no reforzados.

En otras ocasiones, los pórticos secundarios de las cubiertas, como las que se están tratando, se resolvían bien con la inscripción de un círculo tangente en su interior que junto con la cubierta reforzaba las esquinas, donde se acentúan los esfuerzos de flexión del pórtico (fig. 9.19). Este desdoblamiento del arco para configurar un pórtico con la pila vertical hasta el arranque de la semibóveda inferior es formidable.

La cúpula cuadrada superior, en la intersección entre la nave longitudinal y el semicrucero, se resuelve perfectamente con cuatro arcos de esquina que descansan en pilares verticales y atirantados entre sí por cuatro vigas inferiores que limitan el cuadrado. Entre estos elementos existe una serie de semiarcos interiores que descansan en la viga longitudinal que recorre los cuatro lados del cuadro y que está provista de suficiente rigidez horizontal para resistir el pequeño empuje transversal de los arquillos que soportan el cristal (fig. 9.18.5).

Es una estructura bastante perfecta cuyo control se debía de tener por la profusión de complejidades resistentes, no sabemos si suficientemente desarrolladas. Este precioso palacio se resuelve en parte por el escaso peso propio de la cubierta



9.19. Artificio basado en la inscripción de un círculo tangente interior y la triangulación de las esquinas: Permitía hacer pórticos que parecieran arcos. Fue muy utilizado en Francia.



9.20. Invernadero en el parque de la Ciudadela de Barcelona (1888): Preciosa estructura que va bajando los empujes horizontales de bóveda cilíndrica en bóveda cilíndrica.

(fig. 9.18.4). No sabemos cómo responderá bajo el efecto de cargas disimétricas y de viento. Sin duda ha resistido, pero no sabemos cuál será el coeficiente de seguridad de la estructura.

Toda la fachada, igual que hemos visto en los mercados, está configurada por arquillos verticales que descansan sobre los capiteles de las columnas del borde. La fábrica de ladrillo inferior es simple y muy hermosa. El pabellón es pequeño, pero extraordinariamente hermoso (fig. 9.18.6).

Si comparamos esta estructura con la del Grand Palais de París, es conceptualmente muy parecida: pórticos de Dion que resuelven, con la pila vertical inferior, la presencia de galerías laterales. La gran cúpula central se resuelve también con pórticos de Dion en las esquinas.

En Barcelona, en el parque de la Ciudadela, se levanta un invernadero de más de 1.300 m². Debido al arquitecto modernista Josep Amargós i Samaranch (1849-1918), fue realizado para la Exposición Universal de Barcelona de 1888. Es un edificio de cinco naves, una bóveda central y dos semibóvedas laterales. El empuje horizontal de la bóveda central va bajando, apoyándose en las semibóvedas laterales y en pilares de fundición. Los arcos y semiarcos principales son de celosía. Aquí no aparece el

problema del pórtico de Dion, pues no existen paños verticales que cambien el concepto de arco al de pórtico.

IV.4. Faros

La utilización de la fundición y el hierro en la construcción de faros había comenzado en Estados Unidos e Inglaterra en la primera mitad del siglo XIX. En España se construyeron tres faros importantes en la desembocadura del Ebro. Uno formidable, el de Buda, y otros dos más pequeños, el de la Punta de la Baña y el de la Puerta de Falgar, todos ellos proyectos del ingeniero de caminos y arquitecto Lucio del Valle, en



9.21. Faros: 1) de Buda, en la desembocadura del Ebro (Lucio del Valle, 1864), formidable estructura tubular de 53 m de altura que soporta en la parte superior el faro propiamente dicho y en la parte inferior (estabilizando) la vivienda del farero; 2) de Punta de la Baña, también en la desembocadura del Ebro (Lucio del Valle, 1864), su simplicidad de diseño responde a su modesta altura, 19 m; 3) de San Sebastián de Cádiz (Rafael de la Cerda, 1912), de medio siglo después, preciosa construcción de 37 m, formada por un tubo cilíndrico interior, dentro del cual se desarrolla la escalera de caracol. El tubo se rigidiza por vigas exteriores en celosía verticales que rematan en vigas de alma llena.

1864, que previamente había realizado un viaje de estudios por Francia, Inglaterra y Estados Unidos. Volvió muy impresionado por el de Sand Key (Florida), constituido por una serie de cuatro tubos por lado de un tronco de pirámide. En su parte superior se encuentra el faro propiamente dicho y en la parte inferior, aunque apoyado en los mismos tubos que constituyen la pirámide, la vivienda del farero.

Lucio del Valle hace un faro mucho mejor y más alto. El faro de Buda tiene 53 m de altura y está constituido por una pirámide octogonal de una enorme belleza. Mucho más simple y proporcionado que el de Sand Key, aunque siguiendo el mismo esquema: faro en la parte superior y vivienda del farero en la inferior. En el centro se dispone un tubo de palastro donde se aloja la escalera helicoidal para subir hasta el faro. La estabilidad de los tubos se consiguió por una triangulación perimetral de cables y por una serie de marcos que los refería al tubo central. La cimentación se realizó por pilotes helicoidales que penetraban en la arena de la playa, por el sistema Michael, hasta una profundidad conveniente de 12 m. Desgraciadamente, fue derribado en 1961 por socavación del mar.

El de Falgar tiene solo 9 m de altura y está constituido prácticamente por la casa del farero y un faro superior. El de Punta de la Baña tiene 19 m de altura y una estructura similar, salvo que no existe más arriostramiento que el que produce el tubo de palastro que sostiene la luminaria. Proyectado en 1907 por el ingeniero Rafael de la Cerda, La Constructora Gijonesa entregó el formidable faro de San Sebastián de Cádiz en 1912. Las dos condiciones básicas impuestas por el Ministerio de la Guerra (1903) para autorizar la construcción fueron: reducido volumen (minimización de impedimentos a la visibilidad) y ligereza y facilidad de desmontaje, para hacerlo con agilidad en caso de guerra. Consta de un tubo cilíndrico de palastro (2 m de diámetro) que soporta el faro superior y sobre el que discurre la escalera de caracol, y ocho contrafuertes exteriores en celosía, con una terminación superior en diafragmas macizos.

V

ALGUNAS CONSIDERACIONES FINALES

La construcción del siglo XIX viene configurada a partir de la investigación formal derivada de las condiciones físicas y morfológicas de los materiales metálicos. Este hecho, unido al entendimiento científico del comportamiento resistente, produjo un avance definitivo en este mundo. El cambio es tan radical que nada se va a parecer en lo sucesivo a la arquitectura derivada de la piedra, que había determinado el universo formal de la arquitectura durante más de veinte siglos.

La forma resistente ya no construye todo el edificio, necesita de cerramientos laterales y superiores, más especializados y ligeros que las fábricas antiguas. Permite libertad y confort, lo cual viene asociado a las posibilidades de la luz. Una cúpula de fábrica de 40 m de luz es todo lo que se había alcanzado en los dos mil años previos. Además, las enormes fuerzas horizontales que producían configuraban al máximo los

soportes. Ahora, habiendo alcanzado los 150 m de luz, los soportes pueden ser livianos y transparentes, lo que condicionará la arquitectura del siglo xx. Ya no será consecuencia de su historia anterior, sino del progreso, la invención y las realizaciones de los ingenieros.

BIBLIOGRAFÍA

- BABIANO I SÁNCHEZ, E.: *Antoni Rovira i Trias, arquitecto de Barcelona*, Barcelona, Viena Ediciones, 2007.
- CACH, I. J., y S. WOLFSON: *Chicago on foot. Walking Tours of Chicago's Architecture*, Chicago, Chicago Review Press, 1987.
- CASTAÑER MUÑOZ, E.: *La Arquitectura del hierro en España. Los mercados del siglo XIX*, Madrid, Monografías de la Real Academia de Ingeniería, 2004.
- CORBÍN FERRER, J. L.: *El Mercado de Valencia. Mil años de historia*, Valencia, Caja de Ahorros de Valencia, 1983.
- GARCIVAL, G.: *Estaciones de ferrocarril*, Barcelona, Espasa Calpe (Col. Tesoros de España), 2000.
- HEYMAN, J.: *La ciencia de la estructura*, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2001.
- KURRER, K. E.: *The history of the Theory of Structures from arch analysis to computational mechanics*, Berlín, Ernst and Sohn, 2008.
- LARSON, G. A., y J. PRIDMORE: *Chicago architecture and design*, Nueva York, Harry N. Abrams, 1993.
- LÓPEZ GARCÍA, M.: *MZA, historia de sus estaciones*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (Colección de Ciencias, Humanidades e Ingeniería), 1986.
- MEYER, A.-G.: *Construire en fer. Histoire et esthétique*, Golion / París, Infolio (Collection Archigraphy), 1983.
- NAVASCUÉS PALACIO, P.: *Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936)*, Madrid, El Viso, Madrid, 2007.
- PICON, A.: *L'invention de l'ingénieur modern l'École des Ponts et Chaussées (1747-1851)*, París, Presses Ponts et Chaussées, 1992.
- TIMOSHENKO, S. P.: *History of Strength of Materials*, Nueva York, Dover Publications, 1972.

Los puentes: materiales, estructuras y patrimonio

Leonardo Fernández Troyano
Carlos Fernández Casado, S. L.

Amaya Sáenz Sanz
CEHOPU, Ministerio de Fomento

I

EL MUNDO DE LOS PUENTES EN EL SIGLO XIX

Los puentes españoles del siglo XIX son consecuencia directa de los diseñados en los países de nuestro entorno. Muchos de ellos fueron proyectados y construidos por ingenieros y compañías extranjeras. Los diferentes materiales y estructuras que vieron la luz en este siglo llegaron a España con más o menos retraso, especialmente de Francia. Por ello, es conveniente empezar su estudio con un breve apunte sobre los puentes en el mundo durante este siglo, especialmente de Europa. No se trata de hacer su historia, sino de introducir algunas de sus características más fundamentales.

El siglo XIX se puede considerar el más brillante de la historia del puente, porque en él se inició la inmensa mayoría de las técnicas de los puentes modernos, tanto de materiales como de estructuras. El primero metálico se construyó a finales del siglo XVIII, pero su desarrollo se produjo durante el siglo XIX. Los primeros puentes se hicieron de hierro fundido, y la mayoría de ellos fueron puentes arco. A mediados del siglo XIX se pasó al hierro laminado. Un cuarto de siglo más tarde, en 1874, se evolucionó al acero laminado, lo que permitió hacerlos más ligeros por la mayor calidad del nuevo material. La segunda mitad del siglo XIX es la gran época de los puentes viga metálicos en celosía y triangulados, cuyo desarrollo se debe en gran parte a las líneas de ferrocarril que, con un trazado más exigente que el de las carreteras de su misma época, requerían grandes puentes y viaductos. Los grandes viaductos de este siglo son los de ferrocarril.

Después de los puentes de fundición, tanto arcos como vigas, que se iniciaron a finales del siglo XVIII, los puentes colgantes surgieron a principios del siglo XIX, gracias al americano J. Finley. Este dio origen a los que se denominan puentes de segunda generación, considerando que la primera corresponde a los chinos de los siglos XIV a XVII hechos con cadenas de hierro, y a los sudamericanos realizados con cuerdas. Los primeros de Finley coincidieron con el principio del siglo¹ e, igual que los chinos, tenían

¹ H. H. HAURI y T. F. PETERS, 1979.

cables de cadenas. Así se hicieron los cables principales de los primeros puentes colgantes, hasta que los hermanos Seguin los formaron con alambres metálicos paralelos.

Los cables de cadenas y los de alambres se siguieron utilizando en paralelo hasta mediados del siglo XIX, en que se abandonaron las cadenas. En España, debido a la influencia francesa, predominaron los cables principales de alambres, que se consideraban superiores. Solo se hicieron con cadenas los tres primeros puentes colgantes españoles. Esta preferencia en España se refleja desde los primeros escritos sobre puentes colgantes. Lucio del Valle alega seis razones para considerar superiores los cables de alambres sobre los de cadenas. En resumen, que «siendo de alambre se obtiene una economía de bastante consideración», que «es más fácil que haya roturas en las cadenas que en los cables», que «la fuerza del hierro en barras es menor», que «es más difícil hacer pruebas parciales en las cadenas sin alterar el hierro», «la mayor facilidad en el manejo de los cables y su colocación en obra» y el hecho de que «la conservación o entretenimiento de los cables es más fácil que en las cadenas»².

No es clara la superioridad de los cables de alambres, hasta que Roebling perfeccionó el procedimiento de montaje de los cables hilo a hilo en Estados Unidos. Aún después de desarrollado este sistema, en algún puente posterior americano de grandes dimensiones se discutió si hacerlos con cadenas o con alambres, porque la empresa Roebling era la única que sabía montarlos. En Europa también se solucionó el problema con los cables de torsión alternativa de F. Arnodin, que mejoraron a los de torsión única, porque eliminaban las asimetrías de funcionamiento que aparecían anteriormente.

El problema que tuvieron los cables de alambres paralelos de los primeros puentes se debía a la dificultad de montar todos los alambres con la misma geometría, y por ello la tensión no era uniforme en ellos. Una investigación realizada en una serie de realizaciones de los hermanos Seguin y de J. Chaley dio como resultado que había alambres sin carga, lo que variaba radicalmente su seguridad. Los ingleses utilizaron cadenas en la inmensa mayoría de sus puentes colgantes, entre otras razones porque el hierro era más barato en ese país que en el resto de Europa, y no les importaba gastar más hierro.

La historia de los puentes colgantes es de las más fascinantes de todas las historias parciales de los puentes, porque ha pasado de fases de perfecta acogida y admiración, a fases de absoluto descrédito y prácticamente a su desaparición. Estas fases se han ido alternando a lo largo de la historia; es la ley del péndulo, como la define Niels Gimsing³.

La gran ventaja de los puentes «colgados», como se llamaban en España en el siglo XIX, es su ligereza. Por ello los mayores del mundo en la actualidad son colgan-

² L. DEL VALLE ARANA, 1844.

³ N. J. GIMSING, 1983.



10.1. Puente colgante de Santa Isabel sobre el río Gállego (Zaragoza): El puente inicial se debió a la compañía de los hermanos Seguin (1844), siendo reconstruido en 1889-1890 por la empresa del también ingeniero francés Ferdinand Arnodin.

tes. Pero en esta ventaja radica también su mayor debilidad. La mayoría de los problemas que han tenido los puentes colgantes se deben precisamente a esta ligereza. Son muchos los que se ha llevado el viento a lo largo de la historia. El último y más famoso hundimiento fue en 1940, el del puente de Tacoma, de 853 m de luz, en el que un viento moderado del orden de 60 kilómetros por hora indujo unas vibraciones que lo llevaron a la ruina.

En los puentes que hemos llamado de segunda generación, los de la primera mitad del siglo XIX, no se tenía clara la necesidad de dar al tablero una rigidez determinada para evitar las deformaciones excesivas producidas por las sobrecargas. Esta idea, en cambio, ya estuvo clara a finales del siglo, en los puentes colgantes de la tercera generación. También a principios del siglo XX Robert Maillart tuvo clara esta idea en sus arcos delgados, solución inversa del puente colgante, al darle al tablero gran rigidez para resistir las sobrecargas.

En *Teoría de los puentes colgados* (1864), libro fundamental para el conocimiento de este tipo en nuestro país, el ingeniero español Eduardo Saavedra estudia perfectamente los problemas del cable y su deformabilidad, pero no tiene en cuenta la rigidez del tablero, que estaba hecho con estructuras ligeras de madera⁴. Únicamente decía que convenía dar a las barandillas una cierta rigidez mediante una viga

⁴ E. SAAVEDRA Y MORAGAS, 1864.

triangulada de madera, que siempre fue excesivamente ligera. Esta falta de rigidez los hacía excesivamente deformables, lo que daba lugar a vibraciones tan grandes que en algunos de ellos al pasar los carros había que agarrarse a las barandillas. También es conocido el problema que producían en ellos los soldados marcando el paso, porque en algún caso se produjo un fenómeno de resonancia que dio lugar al hundimiento del puente. Por ello se obligaba a los ejércitos a romper la formación cuando los cruzaban.

Todos los inconvenientes anteriores hicieron que los puentes colgantes tuvieran numerosos problemas, incluso hundimientos catastróficos con muchas víctimas, lo que llevó a que quedaran prácticamente proscritos en Europa a mediados del siglo XIX. Se dejaron prácticamente de hacer hasta que se iniciaron los puentes de la tercera generación. Esta se inició en los Estados Unidos, donde no se llegó a interrumpir nunca su construcción, y por ello los puentes colgantes americanos estuvieron durante muchos años por delante de los europeos. Su gran impulsor fue el ingeniero de origen alemán emigrado a los Estados Unidos J. A. Roebling, que introdujo tirantes (fig. 10.1) en las zonas próximas a las pilas y dio rigidez al tablero mediante vigas metálicas. En Europa lo fue el ingeniero francés F. Arnodin, quien trabajó en dos puentes españoles⁵.

Antes que los puentes colgantes modernos, los puentes metálicos aparecen en el siglo XVIII. El primero fue el inglés de Coalbrookdale, un puente arco de 30 metros de luz sobre el río Severn, terminado en 1779, con piezas de hierro fundidas en la legendaria fundición de los Darby, situada también en Coalbrookdale. En ella se inició la producción industrial de hierro, lo que permitió convertirlo en material de construcción. La producción de hierro en grandes cantidades y la reducción de su coste fue uno de los avances técnicos que tuvieron mayor importancia en el origen de la Revolución Industrial, y en que esta se produjera en Inglaterra, porque durante muchos años tuvo una capacidad de producción de hierro muy superior a los demás países avanzados.

El primer puente viga metálico se hizo con piezas de fundición, en el siglo XVIII. Es el acueducto de Longdon-upon-Tern en Inglaterra, de T. Telford (1796), pero el despiece dado a las chapas que forman la viga es el de un arco plano. Arcos metálicos de fundición se construyeron por todo el mundo durante la primera mitad del siglo XIX, pero su desarrollo fue más lento y menos generalizado que el de los puentes colgantes. La fabricación de las piezas en moldes permitía una gran libertad de formas, que incluso dieron lugar a soluciones barrocas. Ejemplo de ello es el puente sobre el río Conway en Inglaterra, en conmemoración de la batalla de Waterloo, de T. Telford, construido en 1815. O los americanos del Central Park de Nueva York construidos en 1864.

⁵ Como se verá: en la reconstrucción del puente de Santa Isabel sobre el río Gállego, y en el trasbordador de Portugalete sobre el río Nervión.



10.2. Puente de Isabel II sobre el río Guadalquivir, en Sevilla: *Proyectado según la patente de A. Polonceau por los ingenieros franceses G. Steinacher y F. Bernadet, fue construido por la empresa hispalense Fundición de Narciso Bonaplata. Conocido popularmente como el puente de Triana, se inauguró en 1852. (Fot.: J. Laurent; fuente: VV. AA., Puentes de hierro, 1878b). (En el vol. IV, fig. 9.6, p. 526, se reproduce Vista de Sevilla con el Puente de Triana, óleo de Manuel Barrón y Carrillo, 1860).*

Los puentes de fundición se terminaron a mediados del siglo porque apareció el hierro laminado en caliente que mejoró significativamente sus propiedades resistivas. A España prácticamente no llegaron los de hierro fundido. El más importante de este material es el puente de Triana en Sevilla, construido a mediados del siglo XIX.

A partir de la aparición del hierro laminado, los puentes se empezaron a hacer con perfiles y chapas, lo que configuró en gran medida las estructuras, porque sus formas se tienen que limitar a las posibilidades de esos elementos, que dieron lugar a los entonces llamados puentes «de palastro» (actualmente de vigas de alma llena), a los de celosía o a los triangulados. Las primeras celosías se hicieron con bandas de chapa. Al aparecer los perfiles, las bandas se sustituyeron por angulares y las celosías tendieron a hacerse más abiertas, o se pasó a las vigas trianguladas.

Es en la segunda mitad del siglo XIX cuando se construyeron los grandes arcos metálicos y se desarrollaron los puentes viga. Un factor fundamental de este desarrollo fue la realización de las grandes líneas de ferrocarril, que comenzaron poco antes de la mitad del siglo.

El siguiente gran avance de las estructuras metálicas fue la aparición del acero a finales del tercer cuarto de siglo. En el primer puente que se utilizó el acero fue en el de San Luis sobre el río Mississippi (terminado en 1874), solamente en los tubos que forman los arcos. El acero es una aleación de hierro y carbono con cantidades limitadas de este, lo que mejora significativamente las características mecánicas de la fundición y del hierro forjado, especialmente en lo que se refiere a su resistencia, ductilidad y tenacidad. El acero, si bien mejoró considerablemente las posibilidades de las



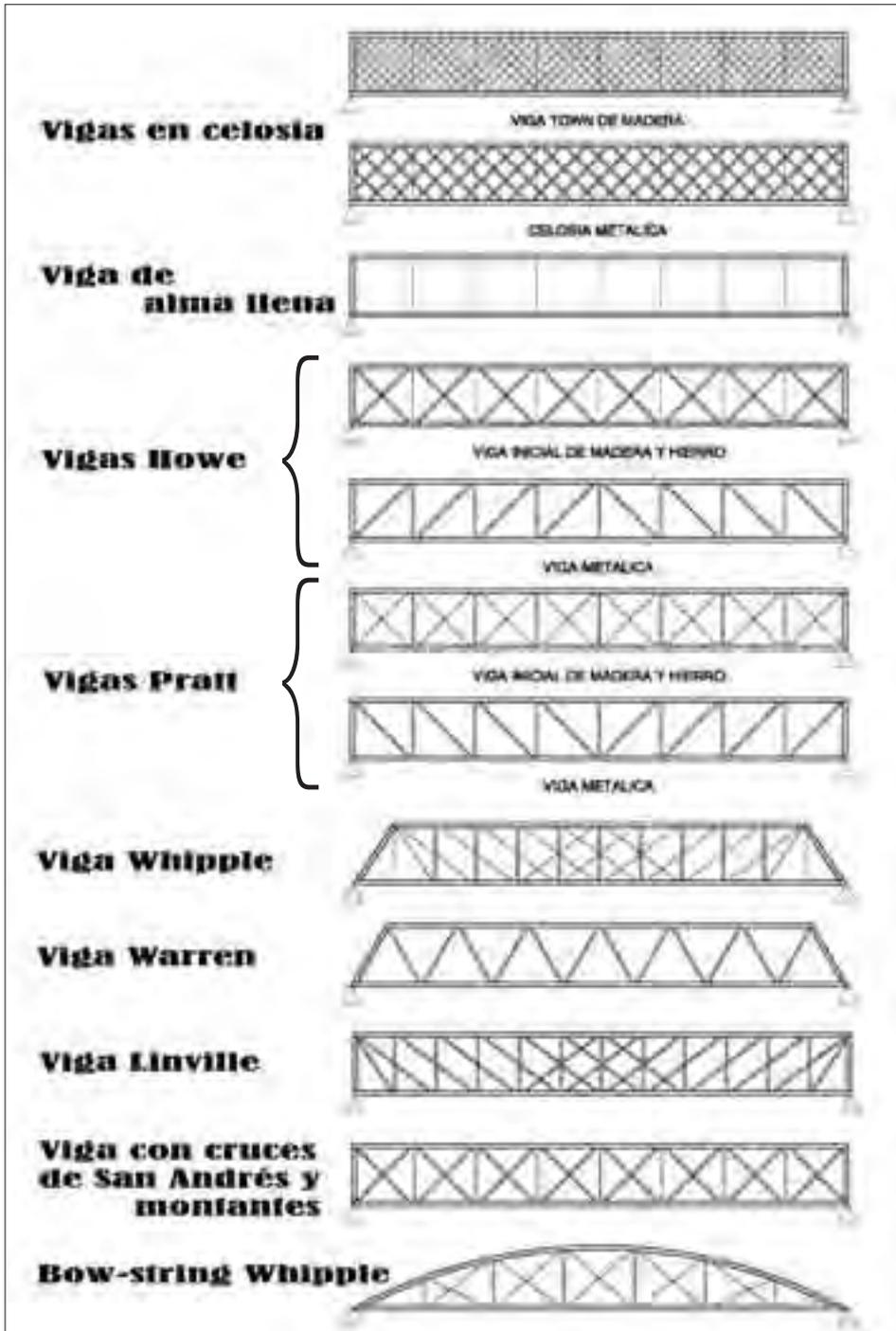
10.3. Puente Internacional de Tuy sobre el río Miño (Pontevedra): De tipo celosía, proyectado por Pelayo Mancebo y Ágreda (1880), fue construido por la empresa belga Braine Le Compté, e inaugurado en 1886. (Fot.: L. Fernández Troyano).

estructuras, no cambió las técnicas ni su fisonomía, porque se siguieron haciendo con perfiles y chapas. No es fácil saber a primera vista si un puente está fabricado con hierro laminado o con acero también laminado.

Poco después que en el resto de Europa, los puentes viga metálicos se iniciaron en España en las primeras líneas ferroviarias. A mediados del siglo XIX comienzan a realizarse los de hormigón en masa y a final de la centuria aparecen los de hormigón armado. Los de hormigón en masa dieron lugar fundamentalmente a pequeñas obras de fábrica, que en España se emplearon con frecuencia en la segunda mitad del siglo. Son de pequeña luz con bóvedas de hormigón en masa. En la *Revista de Obras Públicas* se describe en 1867 una serie de puentes en la carretera de primer orden de Soria a Logroño, donde se habían construido dos arcos escarzanos de 10 m de luz⁶. Otra utilización frecuente del hormigón en masa en nuestro país fue el relleno de las pilas formadas por cilindros metálicos de chapa, solución clásica de las pilas de los puentes metálicos españoles.

Los puentes de hormigón armado aparecieron en Europa a finales del XIX, y en este siglo hubo ya realizaciones de importancia, tanto en puentes arco como en puentes viga. Sin embargo, a España no llegaron hasta el siglo XX.

⁶ Ricardo BELLSOLÁ BAYO: «Memoria relativa a los arcos de hormigón hidráulico construidos en la carretera de primer orden de Soria a Logroño», *ROP* (1867), XV (2), pp. 13-17, (3), pp. 25-26 y (4), pp. 37-43.



10.4. Esquemas de algunas vigas planas utilizadas con frecuencia en el siglo XIX.

II

LOS PUENTES DE PIEDRA Y DE MADERA

Si el siglo XIX se caracteriza fundamentalmente por el desarrollo de la mayoría de las técnicas de los puentes modernos, colgantes y metálicos, y por la aparición del hormigón armado, ello no quiere decir que desaparecieran las técnicas y los materiales utilizados hasta entonces, la piedra y la madera.

Puentes de piedra y de madera se hicieron muchos durante el siglo XIX, más que metálicos, pero los de madera han desaparecido todos. Eran construcciones con un cierto carácter de provisionalidad. Ya sabemos por Palladio que, «cuando los hombres empezaron a mirar por la inmortalidad de sus nombres», hicieron puentes de piedra «porque son más duraderos y de mayor gloria para sus constructores»⁷. Por ello, la historia de los puentes es, hasta el siglo XIX, fundamentalmente la historia de los puentes de piedra, y no de los de madera, de los que se hicieron muchos más. No hay más que leer los que se citan en el *Diccionario geográfico-estadístico-histórico*, dirigido por Pascual Madoz a mediados del siglo XIX, para ver la gran cantidad de puentes de madera que había en esa época en nuestro país⁸.

En la primera mitad del siglo XIX, hasta que aparecieron los colgantes y los metálicos, que, salvo excepciones, se desarrollaron en la segunda mitad del siglo, todos los puentes que se realizaron en España eran de piedra o de madera. Muchos de ellos se hicieron para reconstruir los derribados en la guerra de la Independencia y en las primeras guerras carlistas.

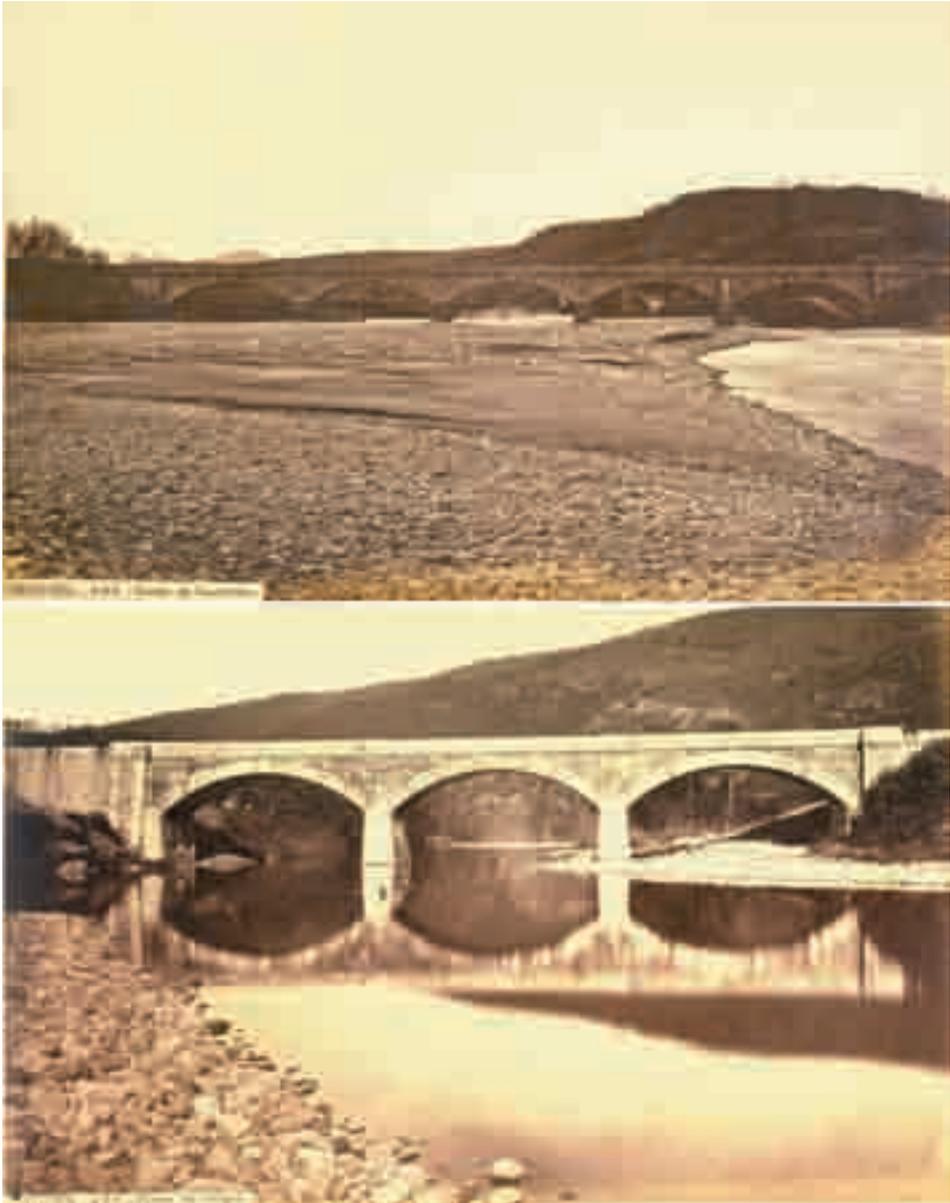
II.1. *Puentes de piedra*

En España quedan muchos puentes de piedra contruidos en el siglo XIX, tanto en las carreteras como en los ferrocarriles. Los más singulares de esta centuria son los grandes viaductos que se hicieron en las líneas ferroviarias europeas, con arcos de medio punto y pilas de gran altura. También se hicieron en España, sobre todo en los ferrocarriles de vía estrecha del norte del país. Pero el siglo XIX es el de los puentes colgantes y metálicos, y por ello los viaductos de piedra son poco conocidos.

El puente de piedra o de ladrillo que más se utilizó en nuestro país en el siglo XIX es el que inició J. R. Perronet a finales del XVIII. Perronet fue el fundador de la *École des Ponts et Chaussées* de París. Las innovaciones que introdujo dieron lugar a una auténtica revolución; utilizó arcos escarzos muy rebajados, apoyados en pilas esbeltas disociadas de ellos. Esta esbeltez no permitía que soportaran el empuje desequilibrado del peso propio del arco de un solo lado, y por ello había que construirlos todos a la vez, o al menos tener cimbrados a la vez varios de ellos.

⁷ Andrea PALLADIO: *I quattro libri dell'architettura*, Venetia, 1570. Milán, ed. facs. Ulrico Hoepli editore librario, 1945.

⁸ P. MADDOZ, 1848-1850.



10.5. Puentes de piedra: 1) de Navarcles, sobre el río Llobregat (Barcelona), en la carretera de Manresa a Gerona, 1864. Fue proyectado en 1853 por José Álvarez y Enrique de León; 2) de Vargas sobre el río Pas, en la carretera de Torrelavega a La Cavada (Cantabria), 1864. (Fot.: J. Laurent).

Esta solución se aplicó con mucha frecuencia en las carreteras españolas. Algunos eran de piedra en su totalidad, como el de Isabel II en Gerona sobre el río Oñar⁹, o el de Caya en Badajoz, con el trasdós de las dovelas escalonado para un mejor engarce con la sillería de los tímpanos. También es de piedra el de Algete, sobre el río Jarama. Un puente largo de este tipo es el de Navarcles sobre el río Llobregat, con cinco arcos de luz considerable¹⁰. Estos puentes planteaban el problema de que, al no resistir las pilas el empuje descompensado del peso del arco de un solo lado, si se hundía un arco, se hundían todos. Por ello se recomendaba en puentes largos hacer una pila más gruesa cada varios arcos, que cortocircuitara el hundimiento. Otros de este tipo tenían bóvedas de piedra y tímpanos de ladrillo. También se utilizaron con frecuencia las bóvedas de ladrillo con los bordes de piedra. Así es el puente de Vargas en Santander¹¹, y el de los Franceses en Madrid para el ferrocarril, aunque este no es de arcos rebajados, sino de bóvedas de medio punto oblicuas de ladrillo, rematadas en los paramentos con arcos de piedra.

Algunos puentes de piedra tenían pilas de altura considerable como el de Genave en Jaén. En general, cuando las pilas eran altas, se hacían con arcos de medio



10.6. Viaducto sobre el río Esva (Asturias), en la línea de ferrocarril de Oviedo a Ribadeo (1866).

⁹ «Puente de Isabel II en Gerona», *ROP* (1856), IV (15), 178-179.

¹⁰ «Reseña histórica de la construcción del puente de Navarcles», *ROP* (1864), XII (18), pp. 205-208, «Memoria descriptiva del proyecto de un puente de piedra sobre el río Llobregat, provincia de Barcelona», *ROP* (1864), XII (15), pp. 173-179 y (16), pp. 183-187.

¹¹ Francisco GONZÁLEZ: «[Descimbramiento del puente de Vargas]», *ROP* (1863), XI (23), p. 291.

punto. De estos hay diferentes ejemplos. Entre los de ferrocarril cabe destacar los realizados en las líneas del Cantábrico, especialmente los de Asturias. Uno de los mayores y mejores es el de la ría del Esva, en la línea de Oviedo a Ribadeo; en la misma línea está el de Artedo sobre el río Uncín, parecido al anterior. Son viaductos de pilas altas, comparables al de Port Launay en Francia, con arcos de 22 m de luz, construidos en 1866. Otro viaducto de ferrocarril de este tipo es el de Buxadell en la línea de Tarra-gona a Reus¹².

En las carreteras españolas no hay viaductos de pilas altas, pero sí corresponden a esta morfología el puente de Vilches en Jaén sobre el río Guadalete construido en 1868, el de San Lorenzo en la carretera de Salamanca a Zamora construido en 1871¹³, el viaducto de Valletorta en Castellón, o el puente de Lleva en Oviedo¹⁴.

Uno de los puentes de piedra más conocido del siglo XIX es el del río Cabriel en la carretera de Madrid a Valencia por las Cabrillas, obra de Lucio del Valle¹⁵. Se terminó en 1849. De este puente hay innumerables referencias en el siglo XIX y XX que elogian su proyecto y su construcción. Incluso en la necrológica de su autor se hacían grandes alabanzas de esta realización¹⁶. Es un puente grande entre los de piedra, sus pilas tienen 28 m de altura, pero no entendemos el motivo de tantos elogios, probablemente debidos a la personalidad del autor. Pensamos que su encaje en el cauce no es afortunado porque la luz del arco principal es pequeña para las dimensiones del río. Tiene 16,7 m de luz, que no es grande entre los puentes históricos españoles; hay muchos puentes con luces mayores entre los romanos y los medievales de nuestro país. Las dos pilas adyacentes al arco principal son excesivamente gruesas, y no se justifican ni por altura ni por la luz del arco principal ni por dificultades de cimentación, porque se apoyan en roca. La relación ancho de pila/luz del arco es 1/2,5, relación superada ya por muchos puentes romanos, incluso por el de Alcántara, más alto y con mayores luces que este; y estas grandes pilas, situadas dentro del cauce, no tienen tajamares, como tenían la mayoría de las pilas de los puentes anteriores situadas en el cauce de un río. Tampoco es afortunada una diferencia de luz tan grande entre el arco principal y los laterales porque el perfil del cauce no lo justifica. En nuestra opinión, se encuentra muy lejos de la composición y encaje de un puente alto como el de Alcántara, construido casi dos mil años antes.

En los primeros estudios se pensó que lo más conveniente en ese lugar era uno colgante de luz grande, pero Lucio del Valle estaba en la comisión que debía decidir el puente más adecuado, y nunca fue partidario de la solución colgada. Consiguió que

¹² J. L. GARCÍA MATEO (dir.), 2004.

¹³ T. ABAD BALBOA y P. CHÍAS NAVARRO, 1994.

¹⁴ F. J. RODRÍGUEZ LÁZARO y J. M.^a CORONADO TORDESILLAS (eds.), 2003.

¹⁵ «Carretera general de Madrid a Valencia por las Cabrillas», *ROP* (1853), I (2), pp. 9-13, (8), pp. 99-105 y (11), pp. 133-140.

¹⁶ Vicente RODRÍGUEZ INTILINI: «Lucio del Valle Arana», *ROP* (1874), XXII (21), pp. 241-250.



10.7. Puente de Contreras sobre el río Cabriel (1849): *En la carretera de Madrid a Valencia por las Cabrillas (Cuenca-Valencia), el proyecto es de Lucio del Valle. (Fot.: J. Laurent; fuente: VV. AA., Puentes de hierro, 1878b).*

se hiciera de piedra, y él mismo lo proyectó y construyó. Hay que decir a favor de Lucio del Valle que, si el puente se hubiera hecho colgado, actualmente no existiría, y, sin embargo, el puente de piedra se ha conservado en servicio hasta fechas recientes aunque ya no forma parte de la actual autovía de Madrid a Valencia.

Otro puente a destacar entre los de piedra es el de Logroño sobre el río Ebro con siete arcos elípticos de 31,5 y 21,5 m de luz. Es sustitución del medieval de San Juan de Ortega; inició el proyecto y la construcción el ingeniero R. Bellsolá, y lo terminó F. Manso de Zúñiga, que sustituyó varios arcos del puente anterior que en principio se iban a conservar. El Puente de Piedra y el Puente de Hierro, los dos puentes históricos de Logroño, se terminaron en el mismo año, 1882. El de hierro, proyecto de F. Manso de Zúñiga, fabricado y montado por La Maquinista Terrestre y Marítima y rehabilitado recientemente, es un puente formado por dos vigas laterales de triangulación Warren con montantes sobre los nudos inferiores, apoyadas en pilas formadas por cilindros metálicos rellenos de hormigón¹⁷.

¹⁷ Begoña ARRÚE UGARTE y José Gabriel MOYA VALGAÑÓN (COORDS.): *La Rioja: Catálogo de puentes anteriores a 1800*, Madrid, CEHOPU, 1998, pp. 784-807; T. ABAD BALBOA y P. CHÍAS NAVARRO, 1994.

Por último, entre los puentes de piedra, citamos el acueducto de El Águila en la provincia de Málaga, construido a finales del siglo XIX por el ingeniero Francisco Cantarero¹⁸. Es un acueducto de gran altura situado en un valle en V, y se resuelve con cuatro arcadas superpuestas de pequeña luz. La conducción se hizo para abastecer de agua a una fábrica de azúcar. En el siglo XX se le llamó el acueducto romano.

En los ferrocarriles se hicieron también arcos de piedra de cierta entidad. Además de los ya citados viaductos altos de los ferrocarriles de vía estrecha del Norte y del puente de los Franceses sobre el río Manzanares en Madrid con bóvedas de ladrillo oblicuas, se construyeron otros puentes de piedra en las líneas ferroviarias, entre ellos varios en la Línea General del Norte: el del río Pisuega de varios arcos, y el del río Duero cerca de Valladolid, que derribó una riada pocos meses después de su inauguración en 1858. Fue sustituido por una viga metálica de 60 metros de luz, que mejoraba la capacidad de desagüe del río. En la misma línea del Norte también se hizo de piedra el puente internacional sobre el río Bidasoa entre Irún y Hendaya, construido por la compañía española.

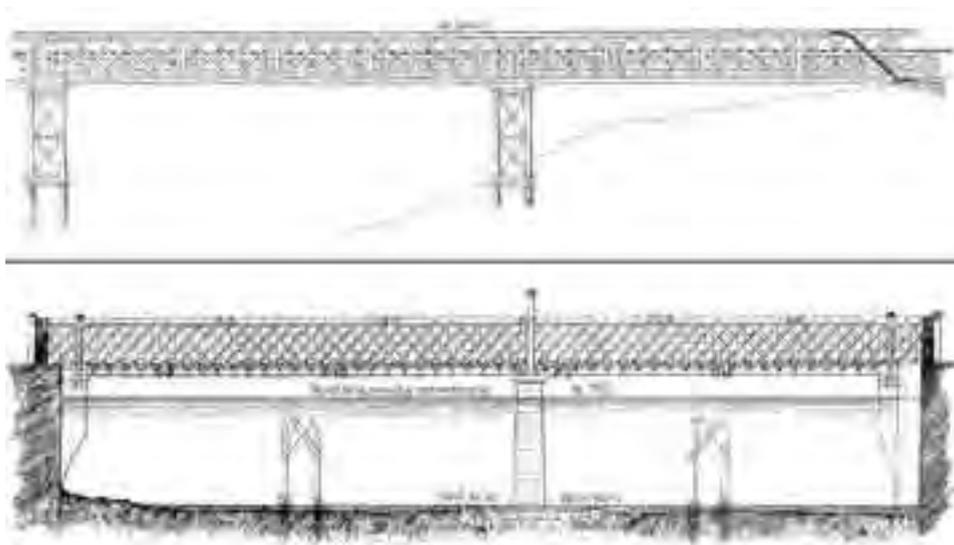
II.2. *Puentes de madera*

Aunque en el siglo XIX había muchos puentes de madera en las carreteras españolas, probablemente una gran parte construidos en ese siglo, tenemos pocos datos de ellos; la mayoría eran pequeños, con poca significación.

Lo que resulta más destacable de los puentes de madera del siglo XIX en España es que se construyeron muchos en las líneas ferroviarias, especialmente en las iniciales. No es esto una situación que se produjera solo en España, porque en Inglaterra y Francia también se realizaron puentes y viaductos de madera de ferrocarril con frecuencia. Cabe destacar los viaductos de madera del ingeniero inglés I. K. Brunel en las líneas inglesas, algunos de gran envergadura, construidos en el siglo XIX. La razón de hacer tantos viaductos de madera es que eran mucho más baratos que los metálicos o los de piedra. Sin embargo, la mayoría de ellos duró muy poco. Muchos desaparecieron por incendios, unos intencionados y otros provocados por el propio ferrocarril. En muchos casos se fabricaban con palizadas hincadas en el lecho del río, que eran muy vulnerables al efecto de las avenidas, que los derribaban con frecuencia. Otros también se hundían por el deterioro de la madera, que en nuestro país se cuidaba poco. Por ello, en España, los puentes de madera tuvieron generalmente un carácter provisional, a diferencia de los países de la Europa Central y de los Estados Unidos, donde hay una tradición de puentes de madera cubiertos, que se remontan al siglo XVIII y se mantienen en uso.

En España, las primeras líneas ferroviarias se inauguraron con puentes de madera. Así se hicieron los de la línea Barcelona-Mataró, inaugurada en 1848, y los de la lí-

¹⁸ FRANCISCO AGUILERA CUENCA: «El puente del Águila», *Cimbra* (2002), XXIV (349), pp. 16-20.



10.8. Puentes de madera: 1) provisional sobre el río Guadalquivir, en el km 48 de la línea de ferrocarril de Córdoba a Sevilla, 1858 (ROP, 1859); 2) de la Princesa sobre el río Oñar, en Gerona. Ingeniero Víctor Martí, 1853 (ROP, 1853).

nea Madrid-Aranjuez, inaugurada en 1851¹⁹. En estas líneas, los puentes se hicieron con vigas Town, precedente en madera de las vigas en celosía metálicas; y con vigas Howe, mixtas de madera y hierro, que tenían largueros y cruces de San Andrés de madera, y montantes verticales formados por barras de hierro. Estas vigas evolucionaron al sistema Howe de vigas trianguladas puramente metálicas. Algunos de ellos se apoyaban en pilas de piedra, pero otros, como el puente sobre el río Tajo de la línea Madrid-Aranjuez, se apoyaban en palizadas de madera. Por ello, el puente sobre el Tajo se hundió poco después de su inauguración y se sustituyó por otro metálico. Todos los de estas líneas se sustituyeron en un plazo más o menos corto por puentes metálicos.

En la línea de Valencia al Grao se hizo uno de los puentes ferroviarios de madera más grandes de nuestro país, sobre el río Turia, con seis vanos de 20 m de luz, formados por vigas Town. Se terminó en 1852. Pocos meses después, el puente se vino abajo por un incendio probablemente intencionado²⁰.

En el ferrocarril de Alar a Santander el problema fue el inverso al de las líneas anteriores. En esta línea se había construido el puente sobre el río Pas en Renedo con

¹⁹ Juan MIEG: *Panorama del ferrocarril de Madrid a Aranjuez, o sea, vistas de los pueblos, estaciones, casillas de guardas, puentes, viaductos y cuanto ofrece notable el camino de hierro desde Madrid hasta Aranjuez*. Ed. facs. [s. l., s. n.], 1984.

²⁰ J. L. GARCÍA MATEO (dir.), 2004.

diez arcos de piedra de 14 m de luz, que se hundió en una avenida del río. Esto obligó a fabricar un puente provisional de madera con 16 vanos de 10 m, apoyados en palizadas de madera hincadas en el lecho del río, y con dobles jabalcones que reducían la luz de los vanos. Se construyó en poco más de un mes, terminándose en octubre de 1862²¹.

Otro puente provisional de madera fue el de la línea ferroviaria de Córdoba a Sevilla sobre el Guadalquivir, con una longitud de 267 m, dividida en 11 vanos de 25 y 20 m de luz, formados por vigas Town («cerchones», según la nomenclatura de su tiempo)²². Se terminó en 1858 y, como se verá, en 1859 fue sustituido por uno metálico. El puente de madera se quiso aprovechar para hacer otro provisional en Palma del Río, pero una avenida lo destruyó totalmente.

En las carreteras también se construyeron puentes de madera, la mayoría de ellos con idea de provisionalidad. De ello son muy ilustrativas dos referencias de la *Revista de Obras Públicas*: la primera es de 1873 y menciona un puente sobre el río Nalón en la carretera de Ribadesella a Pravia por Avilés. En ese lugar había proyectado y aprobado un puente metálico que debía costear el Estado, pero «la penuria del Erario público para realizar aquella obra» llevó a la municipalidad de Pravia a realizar por su cuenta un puente de madera con 41 vanos de 10 metros de luz, apoyados en palizadas hincadas en el terreno, y con jabalcones para reducir la luz²³. La segunda referencia es la de un puente sobre el río Henares en la carretera de Torrejón de Ardoz a Loeches, que pasaba el Henares mediante una barca. Para suprimir esta se proyectó un puente de hierro, pero, al resultar demasiado caro, la Dirección decidió no hacerlo. Por ello la Jefatura de Obras Públicas proyectó uno de madera para resolver provisionalmente el problema²⁴.

Otros puentes de madera de los que hay referencias son el de Gerona sobre el río Oñar con dos vanos de 22 y 17,50 m, formados por vigas Town, terminado en 1853²⁵; y el puente de Traspaderne sobre el río Nela con tres vanos de 19 + 24 + 19 m de luz, también formado con vigas Town²⁶.

²¹ Cayetano GONZÁLEZ DE LA VEGA: «Puentes provisionales de Renedo sobre el río Pas en el ferrocarril de Alar a Santander», *ROP* (1863), XI (2), pp. 17-24.

²² «Cálculo de la resistencia del puente provisional de madera sobre el río Guadalquivir, en el kilómetro 48 del ferrocarril de Córdoba a Sevilla», *ROP* (1859), VII (11), pp. 129-131.

²³ Ángel CAMÓN: «Puente de madera denominado de Pravia, construido sobre el río Nalón, en la carretera de tercer orden de Rivadesella a Pravia por Avilés», *ROP* (1873), XXI (23), pp. 269-271.

²⁴ Ángel CAMÓN: «Obras en curso de construcción de la provincia de Madrid», *ROP* (1873), XXI (20), pp. 233-236.

²⁵ Víctor MARTÍ FONT: «Puente de la Princesa sobre el río Oñar en la ciudad de Gerona», *ROP* (1853), I (16), pp. 208-210.

²⁶ Cayetano GONZÁLEZ DE LA VEGA: «Puente de Traspaderne, en la carretera provincial de Sante a Villasanté», *ROP* (1856), IV (14), pp. 160-164 y (16), pp. 182-186.

III

LOS PUENTES COLGANTES

Como se ha dicho, los puentes colgantes modernos se iniciaron en los Estados Unidos en el primer cuarto del siglo XIX, y en Europa se generalizaron en el segundo cuarto del mismo siglo. También se han comentado, al referirnos a los puentes colgantes europeos, los múltiples problemas que tuvieron, y su práctica desaparición a mediados del siglo XIX.

En España se tiene noticia de alguna catástrofe memorable, como la del puente de Fraga, en la que hubo 12 víctimas mortales. También se hundieron muchos puentes colgantes por diferentes causas: unos durante la prueba de carga, como la reconstrucción del de Arganda²⁷, otros por fallos de los cables o péndolas, debidos en la mayoría de los casos a la corrosión por oxidación; en otros casos el fallo se debió al descalce de pilas y cimientos, como ocurrió en el primer puente de Arganda, que derribó una crecida del río Jarama en 1858; y en el de Fraga sobre el Cinca, que se hundió dos veces seguidas por esta misma causa. Muchos otros fueron destruidos en las distintas guerras que asolaron nuestro país en el siglo XIX. El puente siempre ha sido el nudo gordiano de las comunicaciones en momentos de guerra: «si no se pueden defender se vuelan»²⁸, y el puente colgante es especialmente fácil de destruir. Otros ardieron, como el de Dueñas sobre el Pisuerga.

Los puentes colgantes del siglo XIX necesitaban una conservación costosa, que normalmente no se hacía. Si en España y en muchos otros países la conservación siempre ha sido deficitaria, durante el siglo XIX lo era más, y sobre todo en los casos en que la conservación se dejaba en manos de los ayuntamientos, cuyo conocimiento de los puentes colgantes era inexistente. Por ejemplo, en 1874 se quejaba el ingeniero A. Borregón de la mala conservación por parte del Ayuntamiento de Dueñas del puente sobre el río Pisuerga²⁹.

En realidad, los puentes colgantes de esta generación eran de madera, porque de este material era la plataforma y las vigas de borde que servían de barandillas; y los puentes de madera han sido siempre de poca duración, bien sea por el deterioro propio de la madera, bien sea por el fuego.

Si, como es sabido, la historia de los puentes hasta el siglo XIX es fundamentalmente la historia de los puentes de piedra, y no la de los de madera, lo mismo ha pasado con los puentes colgantes españoles de la segunda generación. En algún lugar hemos leído que los puentes colgantes eran una solución exótica en nuestro país, y se

²⁷ E. SAAVEDRA Y MORAGAS, 1860.

²⁸ L. FERNÁNDEZ TROYANO, p. 90.

²⁹ A. BORREGÓN LÓPEZ PEÑALVER: «Puente colgado de Dueñas sobre el río Pisuerga», *ROP* (1874), XXII (17), pp. 193-200.

olvida que en el siglo XIX hubo muchos en las carreteras españolas, como se puede comprobar por los datos del *Diccionario* de Pascual Madoz. Los puentes colgantes de las carreteras españolas del siglo XIX se conocen por dibujos o fotografías, porque actualmente no queda ninguno de los importantes.

Como hemos dicho, una de las grandes ventajas y también uno de los mayores inconvenientes de los puentes colgantes es su ligereza. Por eso, la relación peso propio/sobrecarga es la más pequeña de todos los tipos de puentes. Esto hace que sean muy sensibles a cualquier aumento de las sobrecargas que se quiera introducir en ellos, y por esta causa resultó necesario sustituir muchos. De esto también han sido partícipes, porque también son ligeros aunque en menor medida, los puentes viga metálicos, que obligaron a muchas sustituciones por el mismo motivo.

En cambio, en los puentes arco de piedra la relación peso propio/sobrecarga es muy grande, y por ello son poco sensibles a los aumentos de sobrecarga que se puedan introducir. Esta es la razón de que en los puentes históricos de piedra no haya sido nunca problema aumentar las sobrecargas, lo que ha permitido que por ellos puedan pasar las pesadas cargas actuales. Es conocida la situación que se planteó en Salamanca cuando el metálico de principios del siglo XX estaba limitado de cargas, y las cargas pesadas se tenían que desviar para pasar por el puente romano.

Por todo ello, los puentes colgantes fueron siempre problemáticos, y tuvieron muchos detractores. Estas críticas fueron especialmente duras por parte de los ingenieros españoles contra los puentes construidos por la empresa de los hermanos Seguin en España. Igual que en el resto de Europa, en España, los puentes colgantes prácticamente se dejaron de hacer a mediados del siglo XIX; son pocos los que se construyeron después de esas fechas. Pero a pesar de sus problemas, entre ellos su gran deformabilidad, los denominados de segunda generación tuvieron un papel importante en las obras públicas españolas en las décadas de los años cuarenta y cincuenta del siglo XIX. Eran económicos, ya que permitían luces grandes, y de este modo se evitaban cimentaciones en los cauces, en ocasiones muy costosas, difíciles de ejecutar y, además, muy vulnerables a las riadas.

J. E. Ribera, cuando a finales del siglo XIX hizo un estudio de las posibles soluciones para el viaducto de Pino sobre el río Duero, tenía muy claro que la solución más económica era la colgante³⁰. Planteó un puente de los que hemos llamado de tercera generación, del tipo de los puentes construidos por el ingeniero francés F. Arnodin, en los que se atirantan los cuartos del tablero próximos a las pilas, y se cuelga de los cables principales la mitad central del tablero, y que años más tarde aplicó en el puente de Amposta ya en el siglo XX. Hubo en España únicamente dos puentes decimonónicos que podamos considerar de la tercera generación: la reconstrucción del puente de Santa Isabel sobre el río Gállego, hecha por Ferdinand Arnodin, que se conservó

³⁰ J. E. RIBERA, 1897; «Puente-viaducto de Requejo sobre el Duero, en Pino (Zamora)», *ROP* (1914), LXII (2035), pp. 471-475.

hasta el segundo cuarto del siglo xx (fig. 10.1), y el singular puente trasbordador sobre el Nervión en Portugalete, hecho también por el mismo ingeniero en colaboración y a iniciativa del arquitecto español Alberto de Palacio Elisagüe (fig. 10.12).

No fueron muchos los puentes colgantes construidos en España durante el siglo xix, en comparación con los países más avanzados de nuestro entorno. Pablo de Alzola habla de unos veinte, realizados en las décadas de 1840 y 1850³¹. Pensamos que incluyendo las «palancas»³² y otros puentes colgantes ligeros hechos localmente en medios rurales, más o menos grandes, el número de los que se pueden considerar puentes puede ser bastante mayor. En fechas recientes, en 1984, nos tocó sustituir algunas de estas palancas en el río Segre, hechas por los herreros de los pueblos del entorno, que había arruinado una avenida del río en 1982³³.

Pero de todos los puentes colgantes que se construyeron en España no quedan más que dos, ambos reconstruidos después de la Guerra Civil: el puente trasbordador de Portugalete sobre el río Nervión, y el de Amposta de J. E. Ribera, de principios del xx, fuera ya de nuestro siglo de estudio.

En España, en general, los distintos tipos de puentes se empezaron a utilizar con más o menos retraso respecto a los países más avanzados de Europa, salvo en los colgantes, donde, si son ciertas las fechas de terminación del puente de Burceña sobre el río Cadagua y del de San Francisco sobre el río Nervión, ambos en Bilbao, que figuran en el estudio del ingeniero Pablo de Alzola³⁴, nos encontramos con que en España se construyeron dos de los primeros puentes colgantes de Europa.

El puente de Burceña, de de pequeña luz (65 m), se terminó en 1822, dos años después del Union Bridge de Samuel Brown, entre Inglaterra y Escocia, de 137 m de luz, el primer gran puente colgante europeo; tres años antes de la construcción del puente Tournon-Tain L'Hermitage, el primer gran puente de los hermanos Seguin, con dos vanos de 89 m de luz; y cuatro años antes que el del estrecho de Menai de Telford (1826), uno de los primeros colgantes europeos.

El puente de Burceña es obra del arquitecto Antonio de Goicoechea, que sigue la técnica americana e inglesa de los cables de cadenas³⁵. No sabemos la procedencia de los conocimientos que le permitieron a Goicoechea lanzarse en ese momento a cons-

³¹ Proyectista de varios puentes metálicos, tanto arcos como vigas, escribió mucho sobre ellos. Su libro sobre *Historia de las obras públicas en España* (1899) es una referencia básica.

³² La denominación de *palancas* a los puentes ligeros se ha utilizado con frecuencia en zonas de montaña.

³³ Leonardo FERNÁNDEZ TROYANO, Javier MANTEROLA ARMISÉN y Miguel Ángel ASTIZ SUÁREZ: «Puentes ligeros en el alt Urgell, sobre el río Segre», *Hormigón y Acero* (1986), 158, pp. 27-47.

³⁴ Pablo de ALZOLA y MINONDO: «Extracto de la memoria del proyecto de puente de hierro para la ría de Bilbao en San Francisco», *ROP* (1880), XXVIII (21), pp. 250-253, (22), pp. 265-270, (23), pp. 277-280 y (24), pp. 289-291.

³⁵ Únicamente se conserva el grabado reproducido en P. NAVASCUÉS PALACIO, 2008, p. 149.



10.9. Puente colgante de San Francisco sobre el río Nervión en Bilbao (reconstrucción de 1852). Arquitecto Antonio Goicoechea. Ingenieros Félix Uhagón y L. de Lamartiniere. Empresa constructora: J. Seguin. (Fot.: J. Martínez Sánchez; fuente: VV. AA., Puentes de hierro, 1878b).

truir un puente colgante. Pudo haberlos obtenido de las publicaciones de Finley sobre los puentes americanos, o bien de los primeros puentes ingleses. Fue destruido en 1834 en las guerras carlistas y se reconstruyó; de nuevo se volvió a hundir por la «suelta de una amarra» en 1881 y se sustituyó por un puente viga metálico³⁶.

En 1828 construyó Goicoechea el puente colgante de San Francisco, sobre el río Nervión en Bilbao, entre esta ciudad y Abando. De 59 m de luz, considerable en ese momento, era también originalmente de cables de cadenas. Al igual que el de Burceña, se conocen pocos datos y detalles de su construcción, lo que es una lástima, porque, debido a las fechas de su realización, ambos son importantes en la historia de los puentes colgantes europeos. De los grabados y planos que hay se deduce que era simétrico con dos torres.

El puente tuvo problemas y por ello se reconstruyó en 1852 con un proyecto de Goicoechea y del ingeniero Félix Uhagón. En la reconstrucción intervino la empresa de los hermanos Seguin, a través de su representante en nuestro país, el ingeniero L. de Lamartiniere, que había construido ya varios puentes en España. En ella sustituyeron los cables de cadenas por otros de hilos paralelos, probablemente por influencia de la compañía francesa. El nuevo puente era asimétrico con una sola torre en una

³⁶ A. DE IBARRETA: «Reconstrucción del puente de Burceña en el río Cadagua», *Anales de la Construcción y de la Industria* (1880), (1), pp. 1-4, (12), pp. 177-180, (13), pp. 193-199; (1881), VI. (6), pp. 81-85, (11), pp. 163-167 y (12), pp.183-187.

de las orillas. Fue destruido en 1874 en la última guerra carlista, y sustituido por otro con un arco rebajado metálico, proyecto de Pablo de Alzola³⁷.

Los bilbaínos se sintieron muy orgullosos de su puente colgante. Prueba de ello fue la popular canción: «no hay en el mundo / puente colgante / más elegante / que el de Bilbao», que termina diciendo que lo han hecho los bilbaínos. La palabra *elegante* estuvo muy asociada a los puentes colgantes, que ejercían una cierta fascinación en la gente. Prueba de ello da el *Diccionario* de Madoz, que en varias ocasiones los califica así.

Las técnicas utilizadas por Goicoechea en sus puentes no trascendieron al resto del país; se quedaron aisladas sin originar un desarrollo posterior de una técnica que dio sus resultados en la iniciación de los puentes colgantes españoles. El único que se puede considerar heredero de los anteriores es el de Los Fueros, también en Bilbao, sobre el río Nervión, construido en 1869 por Sabino de Goicoechea, arquitecto, hijo de Antonio. Tenía 50 m de luz y era también asimétrico con una sola torre, igual que el de San Francisco³⁸.

En la Administración española a principios de los años treinta se produjo un gran interés por los puentes colgantes, iniciado por los ingenieros J. A. Larramendi y Pedro Miranda. Si Larramendi fue el primer impulsor, su desarrollo se debió fundamentalmente al trabajo de Pedro Miranda, primero con la construcción del puente de Aranjuez y después con su impulso desde la Dirección de Caminos³⁹. Miranda había estudiado varios años en París, donde conoció los puentes colgantes que se estaban haciendo en Francia y aprendió su técnica, que aplicó en el proyecto del puente sobre el río Tajo en Aranjuez en la carretera de Madrid a Cádiz, con un solo vano de 35 m de luz (1833). Sin embargo, no utilizó la técnica francesa de cables de hilos paralelos, sino que lo hizo con la de los americanos y británicos, con cadenas. Ha sido el puente más longevo de los colgantes españoles porque, con sucesivas reparaciones, llegó hasta 1935, en que se sustituyó por un arco metálico superior.

Después de la construcción del puente de Aranjuez, Larramendi decidió contactar con la empresa de los hermanos Seguin para contratarles varios más. El primer contrato se formalizó en 1836 para hacer un puente colgante en sustitución de un arco del puente de Almaraz volado en la guerra de la Independencia⁴⁰. Seguin hizo un plano del nuevo puente y envió a su gente para iniciar las obras, pero la peligrosidad

³⁷ «Extracto de la memoria del proyecto de puente de hierro para la ría de Bilbao en San Francisco», *ROP* (1880), XXVIII (21), pp. 250-253, (22), pp. 265-270, (23), pp. 277-280 y (24): 289-291.

³⁸ A. TRUEBA: «Puente de Los Fueros», *La Ilustración Española y Americana* (1870), XIV (10), pp. 147-148.

³⁹ Sobre la participación de Larramendi y Miranda en la construcción de los primeros puentes colgantes españoles: M. LÓPEZ GARCÍA, 2001; y F. SÁENZ RIDRUEJO: *Ingenieros de caminos del siglo XIX*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1990, pp. 17-49 y 99-120.

⁴⁰ La urgencia de la reposición del paso sobre el río Tajo de la carretera de Madrid a Cádiz y el costo de la cimbra para sustituir el arco llevó a Larramendi a decidir sustituir el arco por un puente colgante.

de la zona, debido a la situación de guerra civil que había en Extremadura en esa época, impidió el comienzo de la construcción. M. de Martiani, el cónsul español en París, que se había puesto en contacto con Seguin, le dijo que no había prisa para iniciarla. La Administración, afortunadamente, cambió después de criterio y decidió reconstruir el arco de piedra del puente de Almaraz, en vez de hacer el puente colgante. Las obras se subastaron en 1841, terminándose el arco cuatro años más tarde.

Seguin protestó por lo que consideró un atropello de la Administración española e incluso reclamó ante la justicia. Esta reclamación, sumada al interés por los puentes colgantes de Pedro Miranda, en ese momento director general de Caminos, llevó a contratar a la empresa de los Seguin la construcción, explotación y conservación de cuatro puentes, contrato que cedió a la «Sociedad de los cuatro puentes colgantes», si bien se encargó de la construcción. Esta compañía los explotó y conservó mediante el cobro del pontazgo en ellos. Los puentes contratados fueron los siguientes: el de Fuentidueña sobre el río Tajo en la carretera de Madrid a Valencia; el de Arganda sobre el río Jarama, llamado también de Vaciamadrid; el de Santa Isabel sobre el Gállego, en la carretera de Zaragoza a Barcelona, y el de Carandía, sobre el río Pas en una carretera de segundo orden.

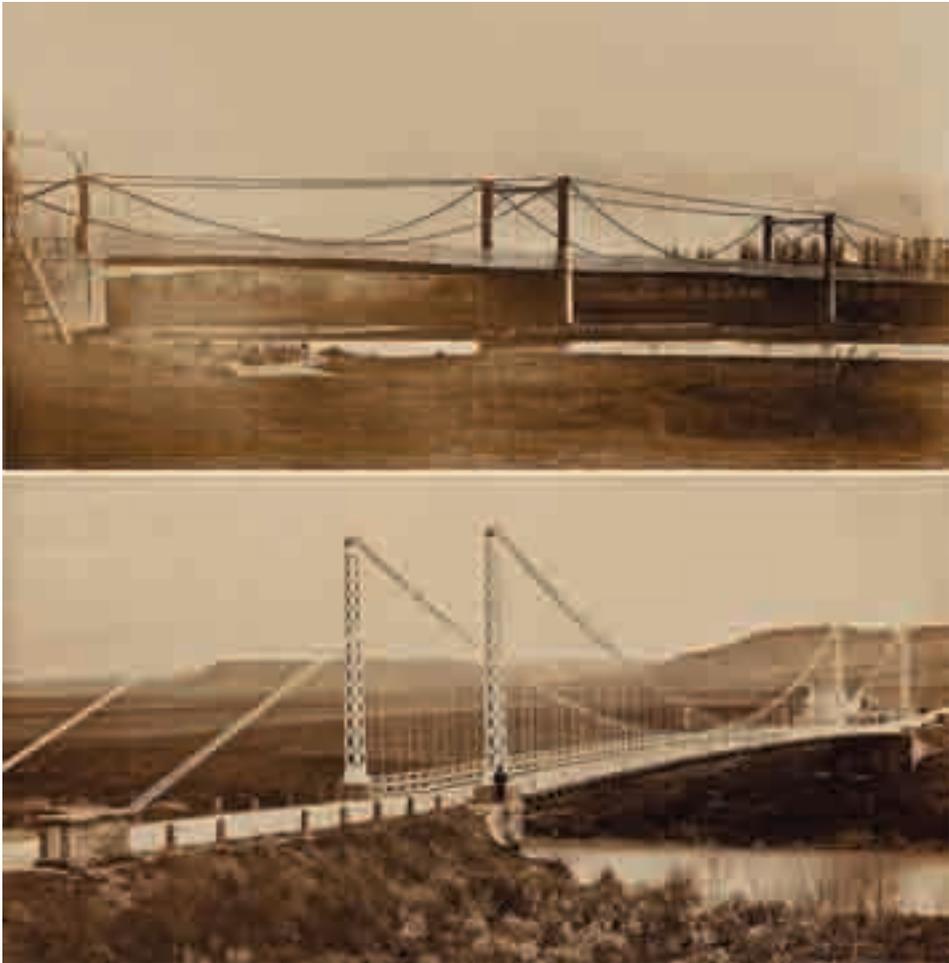
La construcción de estos puentes fue polémica y dio lugar a muchas críticas por parte de los ingenieros españoles que intervinieron en ellas, que llegaron a decir que «la Dirección de Caminos tuvo con Mr. Seguin consideraciones y condescendencias que no hubiera tenido con contratistas españoles»⁴¹. El primero que se terminó fue el de Fuentidueña sobre el río Tajo, inaugurado en 1842. Tenía un vano único de 62 m de luz, y estuvo en servicio 24 años, hasta 1866, que fue destruido por las tropas del general Prim en su huida tras el pronunciamiento de Villarejo de Salvanés. La reconstrucción se hizo mediante un puente viga en celosía de dos vanos⁴².

El segundo fue el puente de Arganda sobre el río Jarama, de 59 m de luz principal, que se inauguró en 1843. En la revisión del proyecto inicial de Seguin intervinieron los ingenieros Baltasar Hernández y Calixto Santa Cruz, que lo criticaron, debido a las cimentaciones y a la longitud excesivamente corta propuesta (dos vanos de 200 o 220 pies, 59 m), que reducían excesivamente la capacidad del cauce⁴³. La solución definitiva consistió en un puente de tres vanos con una luz central de 59 m y dos laterales de 39 m. Esta relación de luces es poco adecuada para un puente colgante de tres vanos, que funciona mejor con una luz grande central y dos laterales de luz menor de la mitad del central. Con la distribución de luces que se le dio, fue necesario disponer unas torres de menor altura sobre los estribos, y unir todas las torres con cables rectos

⁴¹ M. LÓPEZ GARCÍA, 2001, pp. 307-322.

⁴² Ángel CAMÓN: «Carretera de primer orden de Madrid a Castellón: puente de hierro de Fuentidueña en el río Tajo», *ROP* (1873), XXI (7), pp. 81-83 y (8), pp. 92-94.

⁴³ M. LÓPEZ GARCÍA, 2001.



10.10. Puentes colgantes metálicos: 1) De Arganda sobre el río Jarama, en la carretera de Madrid a Valencia. Proyecto inicial de Pedro de Miranda, inaugurado en 1843, reconstruido por Eugenio Barrón en 1863; 2) De Mengibar sobre el río Guadalquivir (Jaén), en la carretera de Bailén a Málaga. Construido por la Fundición San Antonio, de Narciso Bonaplata (Sevilla), 1842. (Ambas fotografías son de J. Laurent; fuente: VV. AA., Puentes de hierro, 1878b).

para dar mayor rigidez al conjunto, solución que se utilizó en varios puentes españoles, por ejemplo en el de Fraga. En 1858, el puente de Arganda se hundió durante una gran avenida del río por descalce de una pila. La reconstrucción fue llevada a cabo por el ingeniero Eugenio Barrón, quien propuso hacer un puente fijo, es decir, de vigas, opción que se rechazó por su excesivo costo, reconstruyéndose el puente colgante, que se terminó en 1863. Durante la prueba de carga se vino abajo, cuando ya estaba completa la carga y se estaba esperando un tiempo para descargar. El hundimiento se debió a la rotura de una de las torres de fundición que se había reaprovechado del

puente anterior⁴⁴. El puente colgante se reconstruyó de nuevo por el mismo ingeniero, con torres de hierro forjado. Probado con éxito, estuvo en servicio hasta que a finales del siglo XIX se sustituyó por uno metálico de arcos superiores⁴⁵.

El tercero fue el puente de Santa Isabel sobre el río Gállego inaugurado en 1844. Era de vano único de 136 metros de luz, y estuvo en servicio veinte años a cargo de la empresa explotadora de los puentes. Más tarde pasó a la Administración, que unos años después, debido a su movilidad y a los problemas de mantenimiento, se planteó sustituirlo por uno rígido; pero el costo que suponía esta sustitución llevó a la reconstrucción del colgante, aunque mejorando su rigidez⁴⁶. Era ya la época de los puentes colgantes que podemos llamar de tercera generación, con soluciones de mayor rigidez que en las anteriores, debidas a J. Roebling en Estados Unidos y a F. Arnodin en Francia, que, como ya hemos visto, utilizan tirantes (fig. 10.1) en las zonas próximas a las torres.

Del proyecto de reconstrucción se encargó el ingeniero A. Fernández Navarrete, que decidió llamar a Arnodin para realizarlo, quien ya tenía experiencia en puentes rígidos porque había construido el de Saint-Illpize de 68 m de luz en 1879 y el de Lamothe de 115 m de luz en 1883 con su sistema. Realmente, Arnodin construyó uno nuevo, reforzando las torres, haciendo el tablero metálico e introduciendo tirantes en los cuartos de luz contiguos a las torres. Los cables principales se hicieron con cables prefabricados de torsión alternativa, invento de Arnodin, que tienen la gran ventaja de asegurar una tensión uniforme en todos los alambres. Se trata, por tanto, de un puente con tablero de estructura metálica, y no de madera, como los anteriores. El nuevo duró hasta el fin del primer cuarto del siglo XX, en que fue sustituido.

Y por último, del cuarto puente construido por la empresa de Seguin en nuestro país, el puente de Carandía sobre el río Pas, contamos con pocos datos. Tenía una luz de 110 m y se inauguró en 1843. Lo explotó la compañía concesionaria hasta 1893 porque a los 50 años caducó la concesión y pasó a cargo del Estado. No sabemos si la compañía de Seguin hizo más puentes colgantes en España. En cualquier caso, su actuación fue bastante polémica entre los ingenieros españoles, hasta el grado de que en 1853 el ingeniero Aguirre se disculpó en la *Revista de Obras Públicas* diciendo que había hecho lo posible para que la «tristemente célebre empresa de Mr. Seguin» cumpliera sus compromisos⁴⁷. No es fácil saber en estas críticas qué parte es debida al componente extranjero de la empresa.

⁴⁴ E. SAAVEDRA Y MORAGAS, 1860, pp. 290-292.

⁴⁵ C. ANDRÉS MATEO: *Puentes históricos de la Comunidad de Madrid*, Madrid, Consejería de Política Territorial, Dirección General de Transportes, 1989.

⁴⁶ «El puente colgado de Santa Isabel (Zaragoza)», *ROP* (1897), XLIV (1119), pp. 205-206, (1121), pp. 266-267, 271 y (1122), p. 301.

⁴⁷ «Carretera general de Madrid a Valencia por las Cabrillas», *ROP* (1853), I, p. 140.

En 1845 se inauguró el puente de Dueñas sobre el río Pisuerga en la carretera de Esguevillas a Dueñas. El proyecto lo hicieron los ingenieros Calixto Santa Cruz y Andrés Mendizábal, quien se encargó de la construcción. Era de vano único de 72,7 m de luz, con pilares de sillería de 7,70 m de altura, un décimo de la luz como es normal en estos puentes, y un tablero de madera de 5,72 m de ancho, con una calzada de 4,12 m para paso de carruajes y caballerías. De este puente existe una detallada descripción⁴⁸.

Los cables principales se apoyaban sobre las torres mediante rodillos para evitar introducir fuerzas horizontales en la cabeza de las torres al paso de las sobrecargas. Esta solución se utilizó en la mayoría de los puentes con torres rígidas.

Los anclajes de los «cables de amarra» se hacían mediante pozos verticales por los que entraban los cables hasta unas galerías inferiores, donde, mediante lazos, se fijaban en pasadores de hierro forjado anclados en la fábrica del estribo. Es la solución que se utilizó con mayor frecuencia en los anclajes (*amarra*s, según nomenclatura de la época) de los cables principales.

Ya nos hemos referido a la mala conservación del puente, que corría a cargo del Ayuntamiento de Dueñas, lo que obligó en 1874 a una reconstrucción total del tablero. En 1883 ardió este, y se rehízo de nuevo. Se mantuvo en pie hasta que en 1926 fue sustituido por uno de hormigón armado con varias pilas en el cauce del río. Duró 81 años, gracias a las reparaciones que se fueron acometiendo⁴⁹.

Los siguientes puentes colgantes españoles se hicieron en Andalucía. El primero fue el de Mengíbar sobre el río Guadalquivir en la carretera de Bailén a Málaga, con vano único de 108 m de luz, terminado en 1845. Lo más original son sus torres de fundición caladas, con formas troncocónicas que recuerdan a las del puente de Cuzbag sobre el río Dordogne en Francia, un puente colgante de varios vanos, terminado en 1839. Los elementos metálicos del puente se fabricaron en Sevilla en la fundición de Narciso Bonaplata. Se reforzó en diversas ocasiones hasta que se sustituyó en 1930. Fue uno de los puentes más longevos de los colgantes españoles. Igual que hemos visto en el puente de Dueñas, los cables se apoyaban sobre las torres en rodillos metálicos.

Los dos puentes siguientes son los de San Pedro y San Alejandro en la carretera de Madrid a Cádiz, en el término municipal del Puerto de Santa María, que sustituyeron a dos puentes de barcas. Estaban incluidos en una mejora general de la carretera en la provincia de Cádiz. Ambos se adjudicaron a una empresa francesa, para explotarlos en régimen de pontazgo. Son obra de los ingenieros franceses Gustave Steinaucher y Ferdinand Bernadet, autores del proyecto del puente de Triana, en Sevilla, como luego veremos, y se inauguraron en 1846. El primero, sobre la ría del mismo nombre, tenía una luz de 81 m. El de San Alejandro, «un elegante puente colgante»

⁴⁸ «Puente colgado de Dueñas, sobre el Pisuerga», *ROP* (1898), XLV (1211), pp. 551-552.

⁴⁹ José María SÁINZ RAMÍREZ: «Puente de Dueñas», *ROP* (1928), LXXVI (2054), pp. 236-240.

según el *Diccionario* de Madoz, que primero lo llama de San Fernando, estaba situado sobre el río Guadalete⁵⁰.

En 1847 y 1848 se inauguraron dos puentes sobre el río Cinca, el primero en Fraga, en la carretera de Zaragoza a Lérida, y el segundo en Monzón, en la carretera de segundo orden de Huesca a Lérida. El primero tenía tres vanos de 49 + 83 + 56 m de luz, con unas torres formadas por bielas de forma oblonga, solución que se utilizó en muchos puentes y pasarelas europeos. Las torres se fijaron mediante cables rectos de unión de sus cabezas, que se prolongaban hasta los anclajes de los cables principales. Esta solución, utilizada en muchos puentes colgantes, sobre todo en los de varios vanos, se ha comentado ya en el puente de Arganda, y es eficaz para dar rigidez al conjunto de la estructura. De este puente existe un cuadro de Jenaro Pérez Villamil (1850)⁵¹. Las obras se iniciaron en 1845 bajo la dirección del ingeniero José María Lerma y se terminaron en 1847. El problema fundamental del puente se debió a la dificultad de las cimentaciones de las pilas en el cauce. En 1852 se hundió una pila a causa de una avenida del río que arrastró a 24 personas que pasaban por el puente, de las que murieron 12. Lo reconstruyó Joaquín Pano Ruata⁵², pero de nuevo se hundió en 1866 por descalce de una pila. Se hicieron después varios puentes provisionales de madera que fue hundiendo el río, hasta que en 1883 se hizo uno de vigas metálicas en celosía, con cinco vanos de 46 m de luz⁵³.

Del puente de Monzón poseemos pocos datos. Tenía tres vanos de 62 m, y fue obra del ingeniero catalán Pedro Andrés y Puigdollers. No era una distribución lógica de luces en un puente colgante, que funciona mejor con una luz grande central, y luces laterales menores de la mitad del vano central, como es el caso del de Arganda; pero distribuciones de luces de este tipo se hicieron con frecuencia en el siglo XIX, disponiendo pequeñas torres sobre los estribos desde las que los cables principales van a los anclajes, y un cable horizontal uniendo las torres, igual que en los de Arganda y de Fraga.

El puente de Monzón se debió de inaugurar en fechas próximas al de Fraga. Se sabe que estaba construido cuando se publicó el *Diccionario* de Madoz, fechado en 1848. Se hundió en 1866 y se substituyó por uno metálico de arcos superiores⁵⁴.

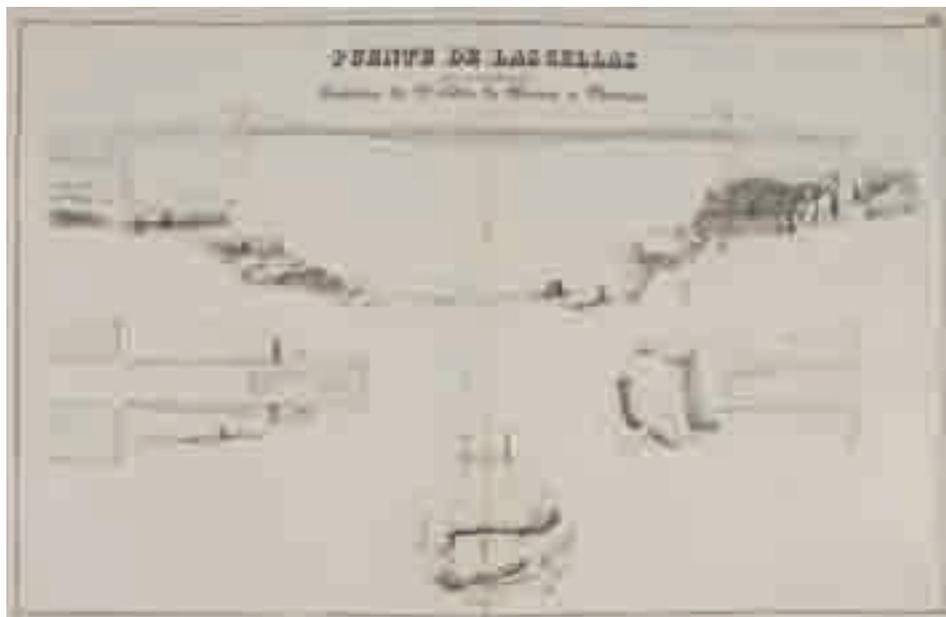
⁵⁰ P. MADOZ, 1848-1850, t. XIII, Puerto de Santa María.

⁵¹ A. VÁZQUEZ DE LA CUEVA: *La ingeniería civil en la pintura*, Madrid, CEHOPU, 2000; M. SILVA SUÁREZ y J. P. LORENTE LORENTE: «Técnica e ingeniería en la pintura española ochocentista: de la modernidad, presencias y ausencias», vol. IV de esta colección, 2007, p. 341.

⁵² Ingeniero que desde la Jefatura de Obras Públicas de Huesca construyó una serie importante de puentes en su región (S. BELLO PEYUSÁN y P. MONTANER LÓPEZ: «Joaquín Pano y Ruata», *ROP* (1920), LXVII (2313), pp. 33-34).

⁵³ Diseño de Joaquín Pano Ruata. J. SALLERAS y R. ESPINOSA: *Fraga y el Cinca. Sus puentes y barcas*, Fraga, La Casa de Fraga, 1994.

⁵⁴ J. PANO RUATA: «Proyecto de puente parabólico de hierro sobre el río Cinca, en Monzón», *ROP* (1876), XXIV (9), pp. 97-104, (11), pp. 121-124, (12), pp. 133-137 y (13), pp. 145-152.



10.11. Puente metálico colgante de Lascellas sobre el río Alcanadre (Huesca), en la carretera de Huesca a Monzón, 1860. Proyecto de Mariano Royo Urieta. (Fuente: VV. AA., Puentes de carreteras, 1878a). (En el vol. iv de esta misma colección, fig. 9.22, p. 551, se reproduce una fotografía de este puente por J. Laurent y Cía., 1867).

En 1860 se terminó el puente de Lascellas sobre el río Alcanadre, de un solo vano de 94 metros de luz; puente tardío porque en esos años ya se habían abandonado prácticamente los colgantes en Europa y también en España. La solución aquí adoptada es singular entre los colgantes porque es de «tablero intermedio», lo que quiere decir que el cable está situado sobre el tablero en los extremos y bajo él en el centro. Puentes con los cables bajo el tablero en toda su longitud se habían construido algunos, bien con cables de alambres, o bien con piezas metálicas más o menos rígidas; puentes arco de tablero intermedio se han hecho con frecuencia, pero colgantes con tablero intermedio, el inverso del anterior, no conocemos ninguno, aparte del de Lascellas. En esta solución, la altura de las torres de fábrica resulta del orden de la mitad de las de un puente colgante normal.

El puente de Lascellas es obra del ingeniero Mariano Royo Urieta, y se construyó directamente por administración. Se inició en 1856 y se terminó en 1860. Se mantuvo en servicio sin intervenciones importantes hasta que en 1888 se vio que el tablero de madera estaba en mal estado⁵⁵. Lo reconstruyó el ingeniero Joaquín Pano Ruata, que intervino en el proyecto de muchos puentes de Aragón de esa época. Sustituyó el

⁵⁵ «Puente colgado sobre el río Alcanadre en Lascellas (Huesca)», *ROP* (1897), XLIV (1135), pp. 699-700.

tablero por uno metálico que fabricó La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona⁵⁶. En los años veinte del siglo xx se vio que el puente no podía soportar el aumento de sobrecargas que requería la carretera. Por ello se pensó en reforzarlo o sustituirlo. Todavía no se había llegado a una decisión cuando se voló durante la Guerra Civil, y se sustituyó por otro de hormigón armado, construido durante la contienda.

El puente más singular y original de los colgantes españoles es el puente trasbordador de Portugalete, llamado Puente Vizcaya, declarado por la Unesco Patrimonio de la Humanidad en 2006. Tiene una luz de 164 metros y se terminó en 1893. Obra del arquitecto español Alberto de Palacio y del ingeniero francés Ferdinand Arnodin, director técnico y constructor, respectivamente, esta autoría compartida ha dado lugar a una continua polémica con posiciones radicales a favor de uno u otro de los autores, influidas en muchos casos por el país de origen del que las toma⁵⁷.

Es el primer puente trasbordador del mundo, origen a una serie de obras de este tipo que se han seguido haciendo hasta fechas recientes. Es un sistema alternativo al puente móvil para resolver el conflicto que plantean dos corrientes de tráfico que se cruzan y son incompatibles: un tráfico automóvil entre dos orillas situadas a poca altura sobre el agua, y un tráfico de barcos de gran altura que circula por la ría o el río que se quiere salvar. El trasbordador consiste en una viga fija a la altura que requiere el gálibo de los barcos, de la que cuelga una plataforma móvil, generalmente mediante cables, que transporta vehículos o personas de una orilla a otra. Los trasbordadores pueden llegar a luces grandes porque su estructura es la de un puente fijo.

Los primeros estudios de Alberto de Palacio para hacer un trasbordador en el río Nervión se inspiraron en el de Saint Malo, en Francia, que consistía en una estructura metálica que rodaba sobre unas vías situadas en el fondo del agua. Esta solución no era aplicable a la ría del Nervión, y fue rechazada. Esto le llevó a buscar nuevas soluciones hasta llegar al sistema de una barquilla colgada de una viga fija, del que ya existían precedentes no construidos en Estados Unidos y en Inglaterra. No sabemos cuándo inició los contactos con Arnodin, pero lo que está claro es que un puente colgante de 164 m de luz y a 43 m de altura sobre las orillas del río le venía grande a Palacio y a los ingenieros españoles, y por eso se puso en contacto con Arnodin, el gran especialista europeo en ese momento en puentes colgantes.

El problema de las patentes de Arnodin y de Palacio, si la francesa es anterior a la española en un año, o si la solicitud se presentó en la misma fecha en Francia y en España por ambos de común acuerdo, es un tema que ha dado lugar a controversias

⁵⁶ J. PANO RUATA: «Memoria acerca de la sustitución de la estructura de madera por otra de hierro en el puente colgado de Lascellas», *ROP* (1890), XXXVIII (17), pp. 264-266, (18), pp. 285-287 y (19), pp. 296-298.

⁵⁷ Sobre las patentes españolas de Palacio: R. R. AMENGUAL MATAS y M. SILVA SUÁREZ: «La protección de la propiedad industrial y el sistema de patentes», cap. 3 del vol. IV de esta colección, 2007, pp. 121-172 (en particular, la sección IV.2.2, «Dos patentes del arquitecto Alberto de Palacio Elissague», pp. 157-160).



10.12. Puente de Vizcaya sobre la ría del Nervión, en Bilbao: Patrimonio de la Humanidad según la Unesco (2006), su diseño se debe a Alberto de Palacio Elisagüe y Ferdinand Arnodin (en 1893 y estado actual). (En la fig. 3.9, p. 253 del vol. iv de esta colección se pueden ver dibujos de las patentes ES 7.506 (noviembre 1887) y ES 14.246 (enero 1893), de Alberto de Palacio Elisagüe).

que se recogen en las monografías escritas sobre este puente⁵⁸. Pero lo que parece claro, independientemente de las patentes, es que la idea del puente trasbordador de Portugalete es de Alberto de Palacio, bien por invención propia, o bien porque conocía los antecedentes americanos e ingleses no construidos. Y también parece claro que la estructura es de Ferdinand Arnodin, porque desde los primeros dibujos que hay del puente es una estructura del tipo de las que Arnodin había construido varias: tablero atirantado en las zonas próximas a las torres y colgado de los cables principales en la zona central de la viga, solución que hemos visto que había utilizado Arnodin

⁵⁸ P. NAVASCUÉS PALACIO, 2008, pp. 162-168; «Puente móvil entre Portugalete y Las Arenas», *La Ilustración Española y Americana* (1888), XXXII (27), pp. 53 y 62, lám.; «El puente Palacio en la desembocadura del Nervión», *La Ilustración Española y Americana* (1893), XXXII (30), pp. 86-88; J. PÉREZ DE LA SALA: «Puentes trasbordadores para grandes vanos utilizados en el cruzamiento de las vías marítimas», *ROP* (1904), LII, pp. 301-308 y 375-377; A. SANTANA EZQUERRA: *Cien años del Puente de Vizcaya*, Bilbao, Diputación Foral de Vizcaya, 1993; A. LÓPEZ ECHEVARRIETA: *Centenario del puente de Vizcaya*, Bilbao, BBK, 1993; I. URUÑUELA MARTÍNEZ DE SALINAS: *El puente de Vizcaya en su primer centenario*, Guecho, 1993.

en España en el puente de Santa Isabel sobre el río Gállego. Las dos vigas principales tenían dos metros de canto y eran trianguladas con cruces de San Andrés y montantes, solución muy clásica en aquella época, y se arriostraban en planta mediante la misma disposición: cruces de San Andrés con montantes. La construcción duró tres años; se inició en 1890 y se terminó en 1893.

El puente se voló en la Guerra Civil española, en 1937, para evitar que el ejército de Franco cruzara el río Nervión. Únicamente se conservaron las torres que no sufrieron ningún daño. Inmediatamente después de la guerra, en 1939, el ingeniero José Juan Aracil hizo un proyecto de reconstrucción, y las obras se terminaron en 1941⁵⁹. Pensamos que la reconstrucción no fue afortunada, porque se cambió el sistema de suspensión y el tipo de las vigas trianguladas, modificaciones que el autor justificó por la evolución de los conocimientos de los puentes colgantes. No se planteó la fiel reconstrucción de un puente con un interés histórico y artístico, sino hacer uno nuevo.

La primera modificación del proyecto de reconstrucción fue suprimir los tirantes y colgar las vigas únicamente de los cables principales mediante péndolas, lo que le obligó a aumentar el canto del tablero de dos a tres metros para darle mayor rigidez. El segundo fue pasar de una triangulación más cerrada a una triangulación Warren muy abierta que no mantiene ninguna relación de homogeneidad con las torres; se ve que son obras de épocas distintas. Sin embargo, la potencia del conjunto hace que estos problemas sean secundarios, y a pesar de ellos tiene el suficiente valor para que la Unesco lo declarase Patrimonio de la Humanidad. Otro elemento del traspasador que se ha sustituido en varias ocasiones es la barquilla de paso de peatones y vehículos. La actual poca tiene que ver con la primera y con el resto del puente, pero es un elemento independiente, que tiene poca relación con el conjunto.

Palacio no diseñó ningún traspasador más, y, en cambio, Arnodin construyó varios en Francia y otros países, con luces que llegaron a los 325 m en el de Newport, Gran Bretaña (1909). Por ello se ha olvidado en parte el decisivo papel que tuvo Palacio en sus orígenes.

Con el puente de Portugalete, terminado a finales del siglo XIX y el único que sigue en pie, finalizaron los puentes colgantes de este siglo. El otro puente colgante histórico que sigue en servicio en España es el de Amposta, de 135 m de luz, obra de J. E. Ribera, terminado en 1914⁶⁰. Pertenece a la tercera generación, con la misma estructura de los puentes de Arnodin ya mencionados; está formado por cables principales, tirantes, y vigas metálicas de rigidez en los bordes. En lo que se diferencia de ellos es en la losa de hormigón armado que hizo Ribera sobre las vigas metálicas transversales. Ha sufrido varias intervenciones a lo largo de su vida, entre ellas una para

⁵⁹ J. J. ARACIL SEGURA: «El puente Vizcaya», *ROP* (1914), LXXXIX (2716), pp. 324-326.

⁶⁰ J. E. RIBERA Y DUTASTE: «Puente colgado sobre el río Ebro en Amposta (Tarragona)», *ROP* (1914), LXII (2039), pp. 527-532, (2040), pp. 539-545 y (2041), pp. 551-555.

reparar los destrozos que se produjeron en él durante la Guerra Civil, y una última rehabilitación integral terminada hace pocos años.

IV

LOS PUENTES METÁLICOS

Los arcos metálicos de fundición comenzaron a construirse en Gran Bretaña a finales del siglo XVIII. A principios del XIX ya se habían extendido por Europa, aunque el número de realizaciones en los principios del siglo no fue grande. Estos puentes tardaron tiempo en llegar a España y son pocas las realizaciones de este tipo. El más importante es el de Triana en Sevilla (fig. 10.2), un puente con tres arcos de fundición terminado en 1852. Los arcos metálicos, tanto de fundición como de hierro o acero laminado, se utilizaron poco en España. La solución que más se generalizó en nuestro país fue la de arcos superiores o *bow-string*, triangulando el enlace arco-tablero, lo que los convierte en una solución intermedia entre un arco superior y una viga de canto fuertemente variable. *Bow-string* significa ‘arco-cuerda’, es decir, se trata de un arco atirantado por el propio tablero, lo que elimina los empujes horizontales en los apoyos. Con esta solución se sustituyeron muchos puentes colgantes.

Los puentes viga metálicos se iniciaron también en Gran Bretaña a finales del siglo XVIII, pero su desarrollo es más tardío que el de los arcos, porque se produjo a finales de la primera mitad del XIX. Sin embargo, en España se empezaron a utilizar a mediados de la centuria, poco después de su desarrollo en Europa y Estados Unidos. Llegaron a España con los primeros ferrocarriles. El primero se construyó en la línea Barcelona-Mataró sobre el río Besós, con cinco vanos de una luz de 28 m⁶¹. Se terminó en 1850, incluso antes que el puente de Triana. Los puentes viga metálicos, sean en celosía, triangulados o de alma llena, se desarrollaron en España durante la segunda mitad del siglo XIX, especialmente para el ferrocarril (son mayoría), aunque también se utilizaron en puentes de carretera.

IV.1. Puentes arco metálicos

Como se ha dicho, arcos metálicos se construyeron pocos en España a excepción de los *bow-string*, que fueron numerosos. Probablemente, el primer arco de fundición que se construyó en nuestro país fue la pasarela del parque de la Alameda de Osuna en Madrid, una pequeña pasarela hecha con un arco delgado donde el paso se ciñe al arco mediante escaleras en ambos lados y un tramo horizontal en el centro⁶². Es una obra adecuada y ambientada en el parque donde se encuentra, y data de los años treinta o cuarenta del siglo XIX.

⁶¹ J. L. GARCÍA MATEO (dir.), 2004.

⁶² P. NAVASCUÉS PALACIO, 2008, pp. 80-81.

El primer puente arco de fundición que se realizó en España fue el de Isabel II sobre el río Nervión en Bilbao, obra del ingeniero español Pedro Celestino Espinosa, al que conocemos también por sus estudios de los puentes históricos españoles⁶³.

La ciudad de Bilbao, igual que con los puentes colgantes, volvió a ser pionera en la construcción de puentes en España⁶⁴. El puente de Isabel II se inauguró en 1847. Tiene siete arcos de fundición, cinco sobre el río y dos más pequeños sobre una de sus orillas, con tímpanos resueltos mediante círculos de radio variable, solución clásica desde el puente de Sunderland, construido en Inglaterra a finales del siglo XVIII. El vano central era basculante, y se movía mediante cadenas, igual que los puentes medievales. Años después de su construcción, tuvo problemas, lo que obligó (1863) a suprimir el tramo móvil y sustituir los tres arcos de la izquierda por pórticos de madera. Desapareció definitivamente durante una riada de 1874, en la que unos gabarones chocaron contra unas de sus pilas cegando parcialmente el cauce, lo que hizo más agresiva la crecida, que descalzó varias pilas, hundiéndolo⁶⁵. Algunos arcos de este puente se montaron luego sobre el río Udondo en Leioa, cerca de Bilbao.

El siguiente puente de arcos de fundición construido en España se llamó también de Isabel II. Es el popularmente conocido como puente de Triana en Sevilla sobre el antiguo cauce del Guadalquivir, que hoy es una dársena debido al nuevo cauce que se le hizo al río. Tiene tres arcos de 46,5 m de luz. Su construcción fue larga, se inició en 1845 y se terminó en 1852, porque estuvo parada en más de una ocasión por diferentes incidencias durante la obra. El puente es proyecto de los ingenieros franceses G. Steinacher y F. Bernadet, que utilizaron la patente de A. Polonceau, registrada en 1839, a partir del puente Carrousel en París, con tres arcos de 48 m de luz. Se utilizó en el de Triana y en varios más en Europa⁶⁶. Consiste en unos arcos tubulares de fundición, hechos por dovelas de dos piezas longitudinales, con alma de madera, unidos al tablero mediante círculos de diámetro variable, igual que hemos visto en el de Isabel II de Bilbao.

Las desavenencias entre los constructores, que eran los mencionados ingenieros franceses, el Ayuntamiento de Sevilla y la fundición de Bonaplata dieron lugar a que terminara la obra el ingeniero español Canuto Corroza. El puente se mantuvo en ser-

⁶³ P. CELESTINO ESPINOSA: «Reseña de varios puentes construidos en España desde la antigüedad hasta principios del siglo XIX», *ROP* (1878), XXVI (16), pp. 189-190, (17), pp. 201-202, (21), pp. 250-252, (24), pp. 298-299; (1879), XXVII (5), pp. 52-58 y (6), pp. 70-71.

⁶⁴ Véase, en particular, P. NAVASCUÉS PALACIO, 2008, pp. 145-171.

⁶⁵ A. IBARRETA FERRER: «Proyecto de reconstrucción del puente de Isabel II en Bilbao», *ROP* (1876), Madrid, XXIV (19), pp. 221-225, (20), pp. 234-236, (21), pp. 244-248, (22), pp. 256-261 y (23), pp. 268-270.

⁶⁶ Por ejemplo, el puente de Santo Tomás en el Canal principal de Estrasburgo (L. FERNÁNDEZ TROYANO, 1999, p. 331).

vicio con cargas limitadas hasta que en los años sesenta del siglo xx se vio que su situación era peligrosa, y más teniendo en cuenta la fragilidad de la fundición. Por ello se decidió sustituirlo por un nuevo puente, igual que se había hecho en París con el de Polonceau en el año 1935. Pero esto levantó tal oposición popular en Sevilla que fue necesario buscar otra solución con un proyecto de J. Batanero, que consiste en un tablero metálico esbelto autorresistente que no se apoya en los arcos, y por ello estos quedan como elemento decorativo. La fisonomía del puente se ha conservado bien, pero no su estructura resistente.

En 1865 se terminó el puente de Valladolid, el primer arco *bow-string* que se hizo en España. El primer proyecto fue un puente colgante del ingeniero Andrés de Mendizábal, autor con Calixto Santa Cruz del colgante de Dueñas, al que ya nos hemos referido. El proyecto del puente de Valladolid se hizo en 1853 y no se construyó inmediatamente⁶⁷. Se llegó a las fechas en que los puentes colgantes se pusieron en entredicho, por todos los problemas que habían tenido, y por ello se constituyó una comisión que decidió cambiarlo; en esta comisión estaba Lucio del Valle, que nunca fue partidario de los puentes colgantes.

Por todo ello se abandonó la idea de hacerlo colgado y se pensó utilizar el sistema Vergniais, una patente belga que tuvo una cierta fama pero escasos resultados⁶⁸. De esta idea se pasó a la solución definitiva con un arco superior o *bow-string*, con la unión arco-tablero triangulada, lo que, como se ha mencionado, da lugar a una solución intermedia entre el arco y la viga. En este puente la triangulación es poco clara, con un arco a media altura y montantes y diagonales sobre él, y cruces de San Andrés bajo él. El proyecto y la construcción fueron realizados por la compañía inglesa de J. Henderson Porter, bajo la dirección de los ingenieros españoles A. Campuzano y A. Borregón. Como los estribos del puente colgante ya estaban construidos, el puente tuvo que mantener la luz del primer proyecto, que era de 67,7 m. Denominado oficialmente puente de Prado, curiosamente, en la ciudad se le sigue llamando puente colgante, a causa del primer proyecto que no se llevó a cabo⁶⁹.

Puentes *bow-string* de uno o varios vanos se construyeron muchos en España durante el siglo xix, quizás el tipo metálico más característico de las carreteras españolas de la centuria. La solución de triangulación que se utilizó en la mayoría consistía en cruces de San Andrés estiradas verticalmente, y montantes verticales. El siguiente *bow-string* de carretera que se realizó en España fue el puente de Monzón sobre el

⁶⁷ A. MENDIZÁBAL URDANGARÍN: «Puente colgado sobre el río Pisuerga en Valladolid», *ROP* (1853), (12), pp. 154-156.

⁶⁸ A. MENDIZÁBAL URDANGARÍN: «Puente proyectado según el sistema de Vergniais», *ROP* (1854), II (5), pp. 65-67.

⁶⁹ «Puente de Prado sobre el río Pisuerga, en Valladolid», *ROP* (1866), XIV (12), pp. 141-144; y (14), pp. 165-167; y «Puente de Prado sobre el río Pisuerga, en Valladolid», *ROP* (1897), XLIV (1127), pp. 451-452.



10.13. Puente bow-string sobre el río Cinca en Monzón (Huesca), proyecto del ingeniero Joaquín Pano Ruata, 1883. (Fot.: ROP, 1897).

río Cinca, terminado en 1883, diseño de Joaquín Pano para sustituir el colgante anteriormente citado⁷⁰. Tenía pilas cilíndricas metálicas y rellenas de hormigón en masa, una solución que se utilizó con frecuencia tanto en Francia como en España. También es de Joaquín Pano el puente sobre el Ésera en Graus, un arco *bow-string* de 42 m de luz con una triangulación Warren entre el arco y el tablero.

A finales del siglo XIX se sustituyó también el puente colgante de Arganda por uno de arcos superiores, que se conserva actualmente fuera de servicio⁷¹. Otro de este tipo es el de Talavera de la Reina sobre el río Tajo, un puente extraordinariamente largo, y el de Coria (Cáceres) sobre el río Alagón.

Otro de los grandes *bow-string* construido en España es el Puente de Hierro de Zaragoza sobre el río Ebro, llamado también Puente del Pilar. Tiene cinco arcos de 47 m de luz, y se terminó en 1885. El proyecto es del ingeniero Laborda, que modificó un proyecto anterior de vigas Warren con montantes. La estructura metálica, igual que la del puente de Monzón, fue fabricada por La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona, la empresa española que construyó más puentes metálicos en la segunda mitad del siglo XIX y en los principios del XX. Actualmente el puente sigue en pie para

⁷⁰ J. PANO RUATA: «Proyecto de puente parabólico de hierro sobre el río Cinca, en Monzón», *ROP* (1876), XXIV (9), pp. 97-104, (11), pp. 121-124, (12), pp. 133-137 y (13), pp. 145-152.

⁷¹ «Incidente sobre el puente colgante de Arganda», *ROP* (1887), XXXV (1), pp. 4-5; C. ANDRÉS MATEO: *Puentes históricos de la Comunidad de Madrid*, Madrid, Dirección General de Transportes, 1989.

uso exclusivamente peatonal, porque se desdobló mediante dos puentes, uno aguas arriba y otro aguas abajo, para el tráfico rodado que pasaba por el puente metálico⁷².

También se hicieron puentes en *bow-string* para ferrocarril. Un ejemplo es el puente de Alfonso XII sobre el río Guadalquivir en Sevilla (1880) con cinco vanos de 50 m de luz, proyectado por J. Font y Escolá. Las pilas están formadas por tubos metálicos rellenos de hormigón. Igualmente sobre el Guadalquivir en Sevilla se construyó la llamada «pasadera del agua» para el paso de una tubería sobre el río, con tres vanos principales de 70 m de luz, con arcos muy rebajados, y pilas, análogamente al del ferrocarril, formadas por cilindros metálicos rellenos de hormigón. Se terminó en 1898⁷³. Ambos han desaparecido. Otro puente *bow-string* de ferrocarril es el del río Gargallo en la línea de Zaragoza a Barcelona, de 56 m de luz.

Puentes arco de tablero superior también se construyeron en España en el siglo XIX, aunque no fue una solución muy generalizada ni en los ferrocarriles ni en las carreteras españolas. Entre ellos se puede destacar el ya citado de Pablo de Alzola que



10.14. La pasadera del agua de Sevilla o pasarela de Chapina (1898): De tipo bow-string con arcos muy rebajados y piso de tablonas, sostenía las tuberías que traían agua procedente del Aljarafe y de la Sierra Norte de Sevilla Realizada para «The Seville Water Works Company», firmaron el proyecto los ingenieros Charles A. Friend y Alfonso Escobar: 1) Plano de un artículo de Juan M. Zafra (ROP, año XIV, n.º 1.209, pp. 531-538); 2 y 3) Fotos anónimas de época (h. 1920).

⁷² J. MANTEROLA ARMISÉN y L. FERNÁNDEZ TROYANO: «El nuevo puente del Pilar en Zaragoza. Clásicos y modernos», *Cauce 2000* (1992), (49), pp. 36-43.

⁷³ J. M. de ZAFRA ESTEBAN: «Rotura de una pila tubular de la pasadera del Guadalquivir en Sevilla», *ROP* (1898), XLV (1209), pp. 539-538.

sustituyó al puente colgante de San Francisco sobre el río Nervión en Bilbao, construido en 1874, con tímpanos en celosía cerrada. Tenía una luz de 42 m⁷⁴.

Otro puente que se debe destacar es el del Grado sobre el río Cinca, un arco rebajado de 68 m de luz (1867), con arcos de alma llena, y tímpanos triangulados con cruces de San Andrés con montantes, como muchos de los primeros puentes arco metálicos ingleses. De proyecto francés, fue fabricado en los talleres de Schneider, empresa que también se hizo cargo del montaje. El de El Grado, hoy desaparecido, era, por su buen encaje, el paisaje que le rodea y su adecuado proyecto, uno de los puentes metálicos españoles más conocidos del siglo XIX⁷⁵.

El puente de Enrique Estevan sobre el río Tormes en Salamanca es de seis arcos de 33 m de luz, proyectado en 1898 por el ingeniero S. Zufiaurre, pero construido ya en el siglo XX. De este puente se puede destacar su recargada decoración historicista, igual que en el de Alejandro III en París, contemporáneo de él. Pero en ambos, a pesar de la decoración, se conserva la potencia de la estructura del puente arco⁷⁶.

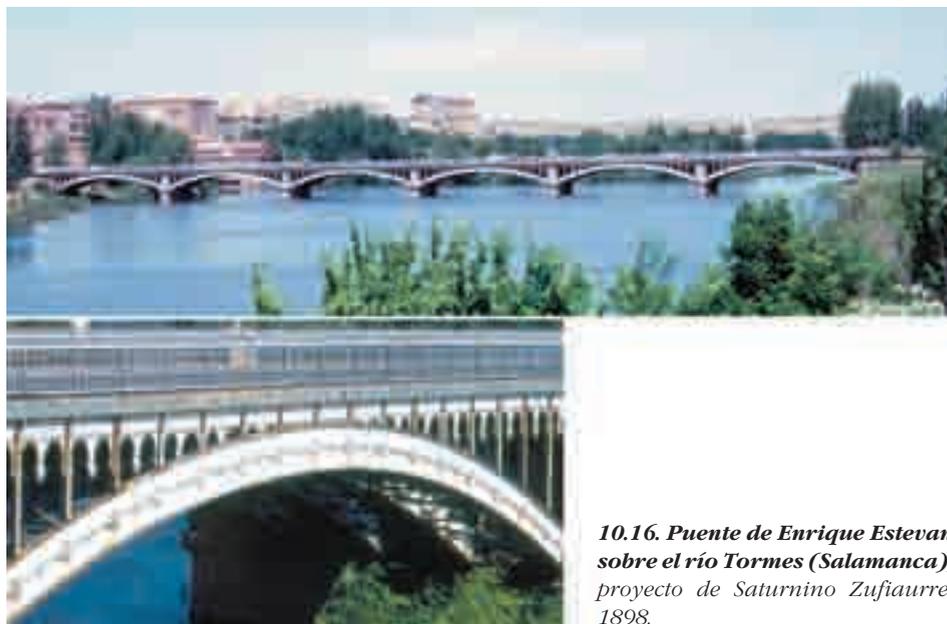


10.15. Puente de El Grado sobre el río Cinca (Huesca): En la carretera de Barbastro a la frontera francesa, el proyecto es de José Echeverría, siendo director de la obra Juan Bautista Nevot. Constructora: Schneider y Cía., 1863. (Fot.: J. Martínez Sánchez; fuente: VV. AA., Puentes de hierro, 1878b).

⁷⁴ P. de ALZOLA Y MINONDO: «Extracto de la memoria del proyecto de puente de hierro para la ría de Bilbao en San Francisco», *ROP* (1880), XXVIII (21), pp. 250-253, (22), pp. 265-270, (23), pp. 277-280 y (24), pp. 289-291; P. de ALZOLA Y MINONDO: «Montaje del puente de San Francisco sobre la ría de Bilbao», *ROP* (1882), XXX (12), pp. 133-134.

⁷⁵ «Puente sobre el río Cinca en el Grado», *ROP* (1897), XLIV (1154), pp. 491-492; y «Puente de El Grado sobre el río Cinca. Carretera de Barbastro a la Frontera (Huesca)», *ROP* (1897), XLIV (1154), p. 499 (lám.), 1897.

⁷⁶ S. ZUFIAURRE GOICOECHA: «Puente sobre el río Tormes en Salamanca», *ROP* (1903), LI, pp. 6-60, 68, 70-76, 78-84, 92 y 93-97.



10.16. Puente de Enrique Estevan sobre el río Tormes (Salamanca), proyecto de Saturnino Zufiaurre, 1898.

Los dos mayores arcos metálicos de tablero superior que se hicieron en España se proyectaron a finales del siglo XIX. El primero, el de la Barca sobre el río Léz en Pontevedra, se terminó en 1896; el segundo, el viaducto de Pino sobre el río Duero, proyectado en 1897, se construyó ya en el siglo XX. El primero era un arco biarticulado de 72 m de luz proyectado por Luis Acosta⁷⁷. El arco era una estructura triangulada que se remataba con dos grandes pilas de fábrica, y a partir de ellas continuaban unas arcadas de piedra de pequeña luz. Fue sustituido en el siglo XX por un puente arco de hormigón parecido a los de Maillart, que sigue en servicio. Los arquillos de los accesos también se han sustituido para el paso de las vías de tráfico de las márgenes.

El mayor de los arcos metálicos españoles del siglo XIX es el viaducto de Pino, aunque se construyó veinte años después de que el ingeniero José Eugenio Ribera hiciera el proyecto⁷⁸. Ribera es uno de los ingenieros más importantes de la ingeniería española de puentes de todos los tiempos. La mayor parte de su obra corresponde al siglo XX y, salvo alguna excepción, los puentes que hizo después del viaducto de Pino fueron de hormigón armado. Es el mejor ejemplo español de los ingenieros-empresarios, de los que hubo muchos en Europa en el siglo XIX y principios del XX, y pocos en España.

⁷⁷ «Pontevedra: carretera de Pontevedra a Grove. Parte metálica del puente La Barca», *ROP* (1896), XLIII (11), pp. 232-235.

⁷⁸ J. E. RIBERA, 1897; J. E. RIBERA DUTASTE: «Puente-viaducto de Requejo sobre el Duero, en Pino (Zamora)», *ROP* (1914), LXII (2035), pp. 471-475.



10.17. Viaducto de Pino sobre el río Duero (Zamora): Proyecto de José Eugenio Ribera (1897), fue construido por Duro-Felguera (1914).

El viaducto de Pino lo proyectó al principio de su carrera, y para llegar a la solución definitiva hizo un exhaustivo estudio de soluciones, con todas las posibilidades que había en Europa a finales de siglo XIX. Se decidió por un arco biarticulado de 120 metros de luz. En su conjunto es una estructura extraordinariamente ligera, tanto el arco triangulado como los montantes y pilas de los accesos sobre los que se apoya el tablero. A las pilas de los accesos se añadieron unas riostras horizontales de alma llena que en nuestra opinión rompen la homogeneidad del conjunto, pero a pesar de ello es y seguirá siendo una de las obras maestras de la historia del puente en España. Se construyó por voladizos sucesivos a base de crear unas ménsulas formadas por los semiarcos, el tablero, los montantes y unas diagonales que convertían la estructura en una ménsula triangulada, solución que se sigue utilizando para construir arcos de hormigón armado.

IV.2. Puentes viga metálicos

Puentes viga metálicos se hicieron muchos en España durante el siglo XIX. La mayoría y los más grandes se hicieron en las líneas ferroviarias, con frecuencia proyectados y construidos por sociedades extranjeras, normalmente asociadas a las compañías concesionarias de los ferrocarriles. Viaductos como el de Ormaiztegui, el de Redondela, el de Tuy o el del Salado fueron grandes obras que demuestran el desarrollo de la ingeniería española de puentes en el siglo XIX.

Para estudiar los tipos de puentes viga que se utilizaron durante el siglo XIX recurriremos a los distintos profesores que enseñaron la asignatura de puentes en la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Eduardo Saavedra fue uno de los primeros, y es de destacar la importancia y trascendencia que tuvieron sus enseñanzas y escritos sobre los puentes colgados, a los que en sus clases daba más importancia que a los metálicos.

En 1857 clasificaba los puentes viga metálicos, siguiendo publicaciones inglesas, diferenciando los de fundición y los de hierro dulce; es decir, los hechos con piezas fundidas y los realizados con perfiles laminados. Estos últimos, que ya se habían impuesto en Europa en esos años, los clasificaba en

- *tubulares*, que tenían sección rectangular hueca y que hoy en día se llaman puentes en viga cajón;
- *laminares*, formados por vigas en doble T de alma llena;
- *enrejados*, que tienen dos cabezas longitudinales unidas por largueros inclinados aislados, lo que hoy llamamos puentes triangulados;
- *celosía*, que tienen dos cabezas longitudinales unidas por diagonales más o menos tupidas que se cruzan en dos direcciones, que actualmente conservan el mismo nombre⁷⁹.

Los primeros puentes viga metálicos fueron en su mayoría de celosía, pero a principios del siglo XX esta solución se abandonó. Los puentes viga metálicos de este siglo son triangulados o de alma llena. Pablo de Alzola en 1871 consideraba solo los puentes tubulares, laminares y celosía⁸⁰. Ya en el siglo XX, Domingo Mendizábal, profesor de estructuras metálicas, decía que los modelos más usuales utilizados por la compañía MZA eran vigas de alma llena para los pequeños, y celosías para los de mayor luz, que incluían los triangulados⁸¹.

La diferencia entre los puentes en celosía y los puentes triangulados es clara en su concepción y en su fisonomía. Por ello, siguiendo a Saavedra, creemos que se debe mantener esta distinción, aunque en ciertos casos, como entre todos los límites entre diferentes tipos de estructuras, no sea clara.

En el XIX estuvieron siempre mejor consideradas desde el punto de vista formal las vigas en celosía o trianguladas que las de alma llena. Pablo de Alzola, uno de los ingenieros más brillantes de este siglo, decía: «las vigas de alma llena se generalizaron ejecutándose bastantes aún en España [...] pero pronto se reconoció que estos puentes de paredes macizas parecían pesados y carecían por completo de arte y de

⁷⁹ J. R. NAVARRO VERA, 2001, vol. I.

⁸⁰ P. de ALZOLA Y MINONDO: «Teoría del cálculo de las vigas rectas», *ROP* (1871), XIX (1), pp. 2-10, (2), pp. 13-15; (6), pp. 74-75 y (7), pp. 83-85, 1871.

⁸¹ D. MENDIZÁBAL FERNÁNDEZ: «Evolución de los tramos metálicos en España», *ROP* (1953), CI (2857), pp. 107-138; D. MENDIZÁBAL FERNÁNDEZ, 1928 y 1932.

gusto»⁸². Posteriormente, los puentes de hormigón armado impusieron las vigas de alma llena, que a mediados del siglo xx se extendieron también a los puentes metálicos cuando se generalizó la técnica de la soldadura, desapareciendo casi totalmente las vigas trianguladas, hasta que llegamos al momento actual, en que se han vuelto a utilizar en casos aislados, porque estamos en un momento en el que todos los tipos de estructuras se pueden considerar en activo.

Como visión esquemática de los puentes viga metálicos en España podemos decir que se iniciaron con puentes en celosía y de alma llena. Las primeras celosías eran muy tupidas, formadas por platabandas que generalmente tenían ancho variable, aumentando de los centros del vano hacia los apoyos, siguiendo las leyes de variación del esfuerzo cortante en las vigas. Esta variación es muy patente en el puente de Calasparra sobre el río Mundo (1893), o en el puente sobre el río Vélez en la carretera de la costa de la provincia de Málaga⁸³, o en el viaducto de Ormáiztegui de ferrocarril que luego veremos.

La celosía fue evolucionando, se fue haciendo más abierta, y se sustituyeron las platabandas por perfiles. Así son los grandes viaductos de finales del siglo xix. Y por último aparecieron las vigas trianguladas, que se llamaron inicialmente de «tipo americano», porque las primeras que se utilizaron fueron las vigas Linville, del ingeniero americano del mismo nombre. Las vigas en celosía desaparecieron ya en el siglo xx.

Utilizadas por lo general en puentes de menor tamaño, normalmente peor consideradas, las vigas de alma llena aparecen en España casi a la vez que las de celosía. La construcción de los puentes metálicos pequeños se hacía sobre apeos. Los grandes se hacían por empuje desde un extremo, procedimiento que en el siglo xix se conocía por *corrimento*. Así se construyeron los grandes viaductos españoles.

Ya mencionado, el primer puente viga metálico español fue el del río Besós en la línea ferroviaria Barcelona-Mataró, la primera que se hizo en España. Esta línea se terminó en 1848 con un puente de madera sobre el río, al que ya nos hemos referido, que se hundió en 1850 y se sustituyó en el mismo año por un puente viga metálico en celosía.

Entre los primeros puentes viga metálicos se pueden citar dos sobre el río Guadalquivir en la línea de Córdoba a Sevilla construidos en 1859. El primero es el de Alcolea, con vigas en celosía y pilas metálicas cilíndricas rellenas de hormigón. Y el segundo el de Lora del Río con 8 vanos de vigas de alma llena de 32 m de luz, y pilas análogas a las del puente anterior.

A partir de esa fecha se empezaron a construir puentes viga en celosía en las nuevas líneas ferroviarias españolas. En la década de los sesenta este tipo de puentes se generalizó porque se tendieron muchos kilómetros de líneas de ferrocarril.

⁸² P. de ALZOLA Y MINONDO, 1882 (1993).

⁸³ «Puente sobre el río Vélez-Málaga. Carretera de Málaga a Almería», *ROP* (1898), XLV (1186), p. 347 (lám.), p. 1898.



10.18. Puente de vigas en celosía de las Mellizas (1863): Sobre el río Guadalhorce en la carretera de Málaga a Cádiz, el proyecto es del ingeniero Pablo de Alzola y Minondo. (Fuente: VV. AA., Puentes de hierro, 1878b).

En 1863 se construyó el puente de las Rochelas en la línea Lérida-Reus con pilas metálicas trianguladas que parten de unos plintos de piedra. En este mismo año se terminó el primero de carretera de vigas en celosía, el de las Mellizas sobre el río Guadalhorce, en la carretera de Málaga a Cádiz, con tres vanos sobre pilas de piedra. El proyecto es del ingeniero Pablo de Alzola, y lo fabricó y construyó la empresa francesa Lasnier, de Lyon⁸⁴. También con vigas en celosía, de cinco vanos, con tres centrales de 42 m de luz y los dos extremos de 36, en esas fechas estaba en construcción el puente sobre el Odiel en la carretera de Huelva a Ayamonte. Se debió de terminar poco tiempo después.

Si en las carreteras españolas se construyeron puentes en celosía en el siglo XIX, muchos más se hicieron en los ferrocarriles. Vamos a ver algunos de los puentes y viaductos más destacados de este tipo. En 1863 se terminó el viaducto de Ormaiztegui en Guipúzcoa, de la Línea General del Norte Madrid-Irún, uno de los más grandes y más conocidos viaductos ferroviarios españoles. Tiene cinco vanos, los tres centrales de 60 m y los extremos de 53, con pilas de sillería de más de 30 m de altura. Lo fabricó la empresa francesa Batignolles, que, con Fives-Lille, Cail, Schneider, Eiffel y Cie., formó el grupo de las grandes empresas francesas constructoras de puentes, que tuvieron mucha actividad en España. En numerosas compañías de las líneas ferroviarias había capital francés, entre ellas la Compañía de la Línea General del Norte. El ingeniero francés A. Lavelley dirigió la construcción del puente, que se hizo por el procedimiento de empuje, es decir, montando tramos del tablero detrás de uno de los estri-

⁸⁴ P. de ALZOLA Y MINONDO: *Proyecto y construcción de un puente sobre el río Guadalhorce*, Madrid, Imp. Rivadeneyra, 1871; «Puente metálico sobre el río Guadalhorce», *ROP* (1869), XVII (5), p. 60; «Puente sobre el río Guadalhorce. Carretera de Cádiz a Málaga (Cádiz)», *ROP* (1879) XLIV (1158), pp. 593-594.

bos, y empujándolo desde este, apoyándolo en el mismo y en las pilas sobre rodillos, de forma que el viaducto avanzaba desde un estribo hasta el opuesto.

El viaducto de Ormáiztegui es un clásico de los viaductos en celosía de ferrocarril, con cordones superior e inferior en T de canto considerable, donde se fijan las platabandas que forman las diagonales de la celosía mediante roblones, igual que se unen los cruces de las platabandas. Los cordones superior e inferior se unen sobre las pilas con una chapa de todo el canto que tiene el mismo ancho de las pilas. A este conjunto se suman unos angulares verticales cada medio canto del tablero para rigidizar las almas. El viaducto fue derribado durante la Guerra Civil, cortando dos de los vanos. Para reconstruirlo se añadieron unas pilas nuevas de hormigón en cada uno de ellos, reduciendo su luz, aproximadamente, a la mitad. La reconstrucción fue bastante caótica porque las piezas cortadas del puente no se colocaron en su lugar original, de forma que se empalmaron zonas de platabandas anchas con zonas de platabandas estrechas, lo que redujo la capacidad resistente del viaducto y obligó a dejar los caballetes de hormigón que dividían la luz de los vanos, porque sin ellos no tenía suficiente capacidad de carga para resistir los trenes que debían circular por la línea. En estas condiciones el viaducto se ha mantenido en servicio hasta 1995, en que se ha sustituido por un viaducto paralelo de hormigón pretensado. Aunque los vecinos del pueblo



10.19. Viaducto de Ormáiztegui sobre el río Estando (Guipúzcoa) en la línea Madrid-Hendaya (1863): *Proyectado por Alexander Lavelley, la realización es de la Société de Construction des Batignolles de París. (En el vol. iv, fig. 9.25, p. 557, se reproduce el conocido óleo de Darío de Regoyos, 1896).*

de Ormáiztegui decidieron que se conservara, el viaducto está actualmente abandonado, cerrado al tráfico, incluso peatonal⁸⁵. Es una lástima que un viaducto de esta categoría se halle en estas condiciones. Ahora que no tiene tráfico ferroviario se podría recuperar, derribando las pilas de hormigón, y devolviéndole su fisonomía original para que quede como una de las grandes obras de la ingeniería en España de todos los tiempos.

Otros viaductos destacables son los de la línea Córdoba-Málaga, especialmente los del tramo Córdoba-Alora inaugurado en 1865. El primero es el puente sobre el río Guadalquivir, llamado del Alcaide, por el cortijo que está próximo a él. Es un puente con cuatro vanos de vigas en celosía sobre pilas formadas por cilindros metálicos rellenos de hormigón. El segundo pasa sobre el Genil en Puente Genil con tres vanos de gran luz y pilas altas metálicas trianguladas. El cruce de la Serranía de Ronda lo hace el tren por el desfiladero de los Gaitanes formado por el río Guadalhorce, un paso realmente difícil que obligó a una serie de viaductos y túneles; el más importante de los cuales es el viaducto del Chorro, en una zona en curva de la vía, que se resolvió con una viga en celosía poligonal en planta, con vanos de luz considerable, sobre pilas metálicas trianguladas⁸⁶.

En 1866 se terminó el puente sobre el río Guadiana cerca de Mérida en la línea Ciudad Real-Badajoz, uno de los más largos de los metálicos españoles, hoy sustituido por uno de fábrica. Era un puente continuo con vigas en celosía con 11 vanos de 53 m de luz⁸⁷. El puente fue proyectado por ingenieros franceses, y construido por las compañías M. Parent y Schaken del mismo país.

Tres de los mayores viaductos de las líneas españolas se construyeron en Galicia⁸⁸. El primero es el Madrid en Redondela, en la línea de Orense a Vigo, construido en 1872, con cinco vanos de 51 m de luz prolongados con arcos de medio punto de fábrica. Las pilas tienen 24 m de altura y son de sillería. El canto de las vigas en celosía es de 4,40 m, y se construyó, igual que el de Ormáiztegui, empujándolo desde un extremo. No sabemos cómo pasaron los accesos, seguramente empujando la estructura metálica antes de hacer los arcos de medio punto. El proyecto y la construcción los hizo la empresa francesa Fives-Lille. En el proyecto inicial las pilas eran metálicas, y posteriormente se cambiaron a sillería. El viaducto quedó fuera de servicio por un cambio de trazado. Ha estado abandonado durante muchos años, lo que creó serios problemas de corrosión. En el año 2002 ha sido restaurado y pintado⁸⁹.

⁸⁵ «Ormáiztegui, un puente maltratado por la historia», *Vía Libre* (1985), número especial dedicado al viaducto, XXII (253).

⁸⁶ F. J. RUBIATO, 2005.

⁸⁷ F. J. RODRÍGUEZ LÁZARO y J. M. ^a CORONADO TORDESILLAS (eds.), 2003; F. WAIS SAN MARTÍN, 1987.

⁸⁸ S. ALVARADO BLANCO, M. DURÁN FUENTES y C. NÁRDIZ ORTIZ, 1990, pp. 323-328 y 341-346.

⁸⁹ C. NÁRDIZ ORTIZ y M. A. CAÑADAS MERCADO: «La restauración del viaducto Madrid en Redondela (Pontevedra)», *ROP* (2002), CXLIX (3.428), pp. 27-37.



10.20. Puentes de vigas: 1) de alma llena de Lora del Río, sobre el Guadalquivir, en la línea de ferrocarril de Córdoba a Sevilla (fot.: J. Martínez Sánchez); 2) en celosía, D. Álvaro, sobre el Guadiana, en Mérida, en la línea de ferrocarril de Ciudad Real a Badajoz. Empresa constructora M. Parent y Schaken, 1866 (fot.: J. Laurent). (Fuente: VV. AA., Puentes de hierro, 1878b).

El segundo es el viaducto Pontevedra, que, igual que el anterior, pasa sobre el pueblo de Redondela. Es un viaducto de tres vanos de $46 + 57 + 46$ m de luz con vigas en celosía y pilas metálicas trianguladas. El proyecto es de 1881, del ingeniero Mariano Carderera, y la estructura metálica fue realizada por La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona, el fabricante más importante de puentes metálicos en España durante el siglo XIX y principios del XX. Actualmente en servicio, no sabemos la fecha en que se terminó. En este viaducto, igual que en la mayoría de los de su época, la celosía es más abierta que en los primeros, y formada por perfiles en vez de platabandas como los del tipo de Ormáiztegui.

El tercero es el puente internacional de Tuya sobre el río Miño, entre Tuya en España y Valença en Portugal, para ferrocarril y carretera superpuestos; el ferrocarril va por

encima y la carretera por el interior de la viga tubular en celosía. Tiene cinco vanos, los tres centrales de 66 m y los dos laterales de 60. El canto es de 6,60 m, lo que permite sobradamente el paso interior de la carretera. El proyecto fue realizado por el ingeniero español Pelayo Mancebo en 1879 y llevado a cabo por la empresa belga Braine Le Compte. Igual que en el viaducto Madrid en Redondela, en el proyecto inicial las pilas eran metálicas y se cambiaron a sillería. Se inauguró en 1886 y actualmente sigue en uso para los dos servicios, ferrocarril y carretera. Es el mayor puente del siglo XIX que continúa en servicio.

En Andalucía oriental se construyeron a finales del siglo XIX varios viaductos de gran envergadura, con vigas en celosía abierta de luces grandes. Entre los de mayor luz se puede destacar el viaducto sobre el río Guadajoz en la línea Puente Genil-Linares con tres vanos de 64 + 67 + 64 m de luz, con pilas metálicas de 28 m de altura. Fue proyectado por ingenieros franceses y fabricado en los talleres franceses Dayde & Pille. Se terminó en 1893. Otro de los mayores es el viaducto sobre el arroyo de las Víboras en la misma línea del anterior, proyectado y construido por los mismos ingenieros y la misma compañía. Es un viaducto de tres vanos con 73,6 + 77 + 73,6 m de luz con una viga análoga a la del puente anterior pero con pilas de sillería más bajas.

El puente ferroviario de mayor luz del siglo XIX se encuentra en la línea de Linares a Almería, que cruza unas zonas de orografía dura, que obligó a la construcción de grandes viaductos⁹⁰. El mayor de ellos es el viaducto del Salado, con tres vanos, el central de 105 m de luz, con pilas de sillería de una altura del orden de 75 m. El puente tenía vigas en celosía abierta; fue realizado por la empresa francesa Fives-Lille, igual que los demás de la línea. Se construyó como la mayoría de los grandes viaductos, empujándolo desde un extremo⁹¹. El puente se encuentra a la salida de un túnel en curva. Al lado del túnel se puede ver la excavación hecha en la roca en la alineación del puente para montar la estructura metálica en ella y desde allí empujar el tablero.

Había varios viaductos de grandes dimensiones en esta línea, entre ellos el Anchurón, con cinco vanos de 55 m de luz, con vigas en celosía abierta, análoga a la del puente del Salado, y pilas de sillería de 45 m de altura; igual al Anchurón es el de Gergal, con la misma solución, las mismas luces, y las mismas pilas, pero con tres vanos en vez de cinco⁹². Otro viaducto de esta línea es el viaducto del Hacho, de más

⁹⁰ R. INCHAURRANDIETA PÁEZ: «Ferrocarril de Linares a Almería. Trozo de Moreda a Guadix», *ROP* (1896) XLIII (16), p. 98; «Inauguración del ferrocarril de Linares a Almería», *ROP* (1899), XLVI: 98; J. A. GÓMEZ MARTÍNEZ y J. V. COVES NAVARRO: *Trenes, cables y minas de Almería*, Almería, Instituto de Estudios Almerienses, 1994.

⁹¹ «Gran viaducto sobre el Salado, en la línea de Linares a Almería. Corrimientos de los tramos metálicos», *ROP* (1899), XLVI (1215), pp. 9-12; «Viaducto del Salado», *ROP* (1899), XLVI (1222), pp. 68-74.

⁹² J. BATANERO, R. RODRÍGUEZ BORLADO, C. MARTÍNEZ LASHERAS y C. MOPAS ZANCAJO: «Puentes Anchurón y Gergal», *Informes de la Construcción* (1997), (291), pp. 78-85.



10.21. Viaductos: 1) Sobre el arroyo del Salado (Jaén), en la línea Linares-Almería. Obra dirigida por Guerin, Basinski, Moreno Osorio y Acedo, inaugurada en 1899, fue construida por la empresa francesa Fives-Lille; 2) Del Hacho sobre el río Guadalhortuna (Granada), en la línea Linares-Almería. Construido por la empresa francesa Fives-Lille, fue inaugurado en 1898; 3) Viaducto Pontevedra en Redondela. Proyecto de Mariano Carderera, 1881. Estructura metálica fabricada por La Maquinista Terrestre y Marítima.

de 600 m de longitud, con luces principales del orden de 60 m, y pilas metálicas, probablemente el más largo de los viaductos españoles del siglo XIX⁹³.

Todos los puentes de esta línea se sustituyeron en los años setenta del siglo XX por falta de capacidad de carga para resistir los trenes de mineral que debían circular por ella. Muchos se sustituyeron por viaductos construidos en paralelo a los originales, que se conservan sin servicio, entre ellos el del Guadalimar y el viaducto del Hacho; pero otros se sustituyeron sobre las pilas originales, como el del Salado y el Anchurón, perdiéndose el puente original.

Como hemos dicho, a finales de siglo se empezaron a realizar puentes de «tipo americano», triangulados con vigas tipo Linville. Algunos de los que se construyeron fueron de gran tamaño. Se puede destacar el segundo puente de ferrocarril sobre el Guadiana en Mérida en la línea Mérida-Sevilla, también de gran longitud y con

⁹³ F. J. CERVANTES PINELO: «Línea férrea de Linares a Almería», *ROP* (1897), XLIV (1149), pp. 365-368.

11 vanos como el primero. Proyectado y construido (1879) por ingleses, sigue en servicio⁹⁴. Otro del mismo tipo es el de Zamora sobre el Duero, también de ferrocarril, con cinco vanos de 53 m de luz máxima. Lo proyectó el ingeniero J. M. Fernández Arroyo, y se terminó en 1896.

Puentes de palastro (de vigas de alma llena), empleados para las luces menores que los de celosía, se construyeron muchos en España, tanto de carretera como de ferrocarril. El primero del que tenemos datos es el ferroviario ya citado de la línea Córdoba-Sevilla en Lora del Río sobre el Guadalquivir (1859) con 8 vanos de 32 m de luz. Sustituyó a uno anterior de madera hecho con vigas Town que no duró más de un año. Las pilas estaban formadas por cilindros metálicos rellenos de hormigón. Se sustituyó en 1921 por un puente de vigas Linville de 50 m de luz.

El primer puente de alma llena de carretera fue el de Vegadeo sobre el río Eo, en la carretera de Oviedo a Lugo. Lo publicó en la *Revista de Obras Públicas* en 1861 su autor, el ingeniero González Regueral, y es anterior al de las Mellizas de Alzola, el primer puente con vigas en celosía. Es una viga continua con dos vanos de 39 m de luz, prolongados por detrás de los estribos con unas ménsulas de 6 m. El cálculo de la viga continua se resolvió suponiendo articulaciones a los cuartos de la luz próximos a la pila central, lo que lo convierte en unos tramos ménsula, según la nomenclatura de Fernández Casado, que son isostáticos⁹⁵.

En los años sesenta se construyeron varios puentes con vigas de alma llena en doble T, con un mismo proyecto, dirigido por Lucio del Valle. Son los de Zuera sobre el río Gállego con cinco vanos de 30 m de luz; de Encinas de Abajo sobre el Tormes con 9 vanos de 25 m de luz, ambos con tablero intermedio metálico; y el del arroyo de las Víboras en la carretera de Jaén a Córdoba con dos vanos de 30 m de luz, con tablero superior de madera⁹⁶.

De los puentes de alma llena del siglo XIX, uno de los de mayor luz es el de los Peares, en la carretera de Orense a Monforte de Lemos, con un solo vano de 62 m y vigas de alma llena de 5 m de canto. Se proyectó inicialmente con vigas en celosía por el ingeniero Manuel Maese, pero la empresa belga Braine Le Compte propuso hacerlas de alma llena, y así se construyeron⁹⁷. El puente más conocido de los de alma llena construido en España en el siglo XIX fue el primer viaducto de la calle de Segovia en

⁹⁴ J. L. GARCÍA MATEO (dir.), 2004.

⁹⁵ S. GONZÁLEZ REGUERAL: «Puente de hierro sobre el río Eo», *ROP* (1861), IX (15), pp. 181-189 y (16), pp. 193-196; M. AGUILÓ ALONSO: *El carácter de los puentes españoles*, Madrid, ACS, Actividades de Construcción y Servicios, 2007.

⁹⁶ L. del VALLE ARANA, V. MARTÍ FONT y Á. MAYO DE LA FUENTE: «Proyecto de un puente de hierro sobre el río Víboras para la carretera de segundo orden de Jaén a Córdoba», *ROP* (1865), XIII (16), pp. 199-202; L. del VALLE ARANA, V. MARTÍ FONT y Á. MAYO DE LA FUENTE: «Proyecto de los tramos de hierro para el Puente de Encinas sobre el río Tormes», *ROP* (1865), XIII (18), pp. 224-227.

⁹⁷ S. ALVARADO BLANCO, M. DURÁN FUENTES y C. NÁRDIZ ORTIZ, 1990, pp. 335-339.

Madrid, proyecto del ingeniero E. Barrón⁹⁸. Tenía tres vanos de 54 m de luz y pilas metálicas trianguladas sobre bases de sillería. Fue realizado por la compañía francesa Parent, Schaken, Caillet y Cía., que luego pasó a ser la Fives-Lille, constructora de gran cantidad de puentes en España. Se terminó en 1872 y estuvo en servicio hasta que en la década de 1930 se sustituyó por el de arcos que sigue en servicio.

Son muchos los puentes de alma llena que se hicieron en los ferrocarriles españoles. Uno de los primeros debieron de ser los de la línea Madrid-Aranjuez, que se inauguró en 1851: puentes de madera formados por vigas Town en los pasos de los ríos Manzanares, Jarama y Tajo. Estos puentes se hundieron pronto y se sustituyeron por puentes viga metálicos de alma llena. No conocemos la fecha de su construcción.

De los muchos puentes viga metálicos construidos en España en el siglo XIX, la mayoría se han ido sustituyendo por insuficiencia de capacidad de carga, debida al aumento de los pesos de los trenes que circulan por nuestras líneas. Sin embargo, se conservan bastantes, unos en servicio y otros fuera de uso; en cualquier caso, todos ellos forman un magnífico patrimonio. Muchos requieren rehabilitación, porque, si no se actúa en ellos, pueden llegar a una situación de deterioro irreversible.

BIBLIOGRAFÍA

- ABAD BALBOA, Tomás, y Pilar CHÍAS NAVARRO: *Puentes de España*, Madrid, Fomento de Construcciones y Contratas, 1994.
- ALVARADO BLANCO, Segundo, Manuel DURÁN FUENTES y Carlos NÁRDIZ ORTIZ: *Puentes históricos de Galicia*, Galicia, Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos / Xunta de Galicia, Dirección Xeral do Patrimonio Histórico e Documental, 1990.
- ALZOLA Y MINONDO, Pablo de: *La estética en las obras públicas*, 1882. (Madrid, Fundación Esteyco, 1993).
- *Historia de las obras públicas en España*, 1899. (Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001, 3.^a ed.).
- FERNÁNDEZ TROYANO, Leonardo: *Tierra sobre el agua. Visión histórica universal de los puentes*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1999.
- GARCÍA MATEO, José Luis (dir.): *Inventario de puentes ferroviarios de España*, [Madrid], Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 2004.
- GIMSING, Niels J.: *Cable-Supported Bridges. Concept and design*, Nueva York, John Wiley & Sons, 1983.

⁹⁸ «Puente en la calle de Segovia de esta corte», *ROP* (1860), VIII (2), pp. 21-22; E. BARRÓN AVIGNON: «Madrid: Prolongación de la calle de Bailén y puente de hierro para la de Segovia», *ROP* (1861), IX (18), pp. 217-224 y (19), pp. 229-233, 1861; A. MONTERDE: «Viaducto de la calle de Segovia», *ROP* (1872), XX (3), pp. 32-33.

- HAURI, H. H., y T. F. PETERS: *The development of suspension bridges construction from the earliest attempts to the beginnings of the wire cable bridges*, Boston, American Society of Civil Engineers, 1979.
- LÓPEZ GARCÍA, M.: «Larramendi y los inicios de los puentes colgantes en España», *JAFo*, 2001, pp. 307-322.
- MADOZ, Pascual: *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de Ultramar*, Madrid, 1848-1850.
- MENDIZÁBAL FERNÁNDEZ, Domingo: *Estudio y construcción de tramos metálicos*, Madrid, Sucesores de Rivadeneyra, 1928.
- *Estudio y construcción de estructuras metálicas*, Madrid, Sucesores de Rivadeneyra, 1932.
- NAVARRO VERA, José Ramón: *El puente moderno en España: la cultura técnica y estética de los ingenieros*, Madrid, Fundación Juanelo Turriano, 2001, vol. I.
- NAVASCUÉS PALACIO, Pedro: *Arquitectura e ingeniería del hierro en España (1814-1936)*, Madrid, El Viso, 2008.
- RIBERA, José Eugenio: *Grandes viaductos*, *Revista de Obras Púlicas*, 1897.
- RODRÍGUEZ LÁZARO, F. J., y J. M.^a CORONADO TORDESILLAS (eds.): *Obras públicas de España. Fotografías de J. Laurent, 1858-1870*, Ciudad Real, Rectorado de la Universidad de Castilla-La Mancha, 2003.
- RUBIATO, Francisco Javier: *Los puentes del Guadalquivir*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2005.
- SAAVEDRA Y MORAGAS, Eduardo: «Prueba del puente colgado de Arganda», *ROP* (1860), VIII (24), pp. 290-292.
- *Teoría de los puentes colgados*, Madrid, Impr. Nacional, 1864.
- VALLE ARANA, Lucio del: *Memoria sobre la situación, disposición y construcción de los puentes*, Valencia, 1844. (Madrid, Fundación Esteyco, 1994).
- VV. AA., *Puentes de carreteras. Obras Púlicas de España*, 1878a (libro manuscrito depositado en la Biblioteca Juan García Hortelano, CEHOPU-CEDEX, Ministerio de Fomento).
- *Puentes de hierro: vistas de algunos de los construidos en las carreteras y ferrocarriles. Obras Púlicas de España*, 1878b (libro manuscrito depositado en la Biblioteca Juan García Hortelano, CEHOPU-CEDEX, Ministerio de Fomento).
- *JAFo: homenaje a José Antonio Fernández Ordóñez*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001.
- WAIS SAN MARTÍN, Francisco: *Historia de los ferrocarriles españoles*, Madrid, Fundación de los Ferrocarriles Españoles, 1987.

La teoría de máquinas y mecanismos: desarrollo y difusión de una nueva ciencia

Juan Ignacio Cuadrado Iglesias
Universidad Politécnica de Valencia

Emilio Bautista Paz
Universidad Politécnica de Madrid

Los últimos años del siglo XVIII es época de cambios acelerados, de transformaciones sociales, políticas y técnicas. En la Francia revolucionaria de fin de la centuria se crea una institución llamada a jugar un papel crucial en el nacimiento de la nueva ciencia de las máquinas: la *École Polytechnique*. En ella se forman muchos de los protagonistas del desarrollo inicial de la nueva rama del saber, que nace como ciencia de la ingeniería, con la utilidad como objetivo principal. Una consecuencia inmediata es que sus fundadores son *savants-ingénieurs-professeurs*. Se trata de profesionales preocupados por el conocimiento científico, urgidos por la necesidad de mejorar la sociedad a través del perfeccionamiento de los procesos industriales, con vocación de transmitir los conocimientos a los diferentes estamentos profesionales de una forma inteligible. Estos rasgos van a caracterizar de manera determinante el desarrollo de la nueva disciplina.

Trataremos de identificar los hitos fundamentales y los personajes principales asociados a su desarrollo a lo largo del siglo XIX, a lo que dedicaremos las dos primeras secciones del capítulo; en la tercera se abordan los procesos de difusión de dicho conocimiento en nuestro país. ¿Fue importante la aportación de los españoles en el inicio? Desde el punto de vista de la difusión, ¿puede considerarse que España fue un país atrasado? ¿Cómo se produjo la difusión y qué personas fueron protagonistas? Trataremos de dar contestación a estas preguntas, sabiendo que la respuesta proporcionada no puede considerarse ni completa ni definitiva. Una búsqueda más amplia y detallada de fuentes de información permitirá en el futuro trazar esta historia de manera más extensa y rigurosa.

I

LA CIENCIA DE LAS MÁQUINAS Y SU LENGUAJE

Como toda ciencia, la de las máquinas posee sus propias claves de entendimiento, su propio lenguaje conceptual. Analizar su evolución consiste, en gran medida, en recorrer los conceptos que utiliza desde su génesis.

Las máquinas han sido objeto de estudio desde la más remota antigüedad, pero hasta los comienzos del siglo XIX no se capta la necesidad de crear un cuerpo conceptual específico que agrupe los conocimientos dispersos existentes, los estructure y facilite la generación de otros nuevos. Este proceso se desarrolla a lo largo del siglo XIX. En la centuria siguiente, la disciplina sigue evolucionando y alcanza resultados creativos importantísimos, pero las bases conceptuales ya estaban puestas en el Ochocientos.

Desde la perspectiva actual, una máquina es un sistema complejo en el que pueden confluír diversas tecnologías (mecánica, eléctrica, electrónica, automática...). Sin embargo, durante casi todo el XIX se trató de algo esencialmente mecánico. Por tanto, la mayor parte de los conceptos utilizados se derivan de la mecánica, o, para ser más precisos, de las mecánicas (mecánica del sólido rígido y deformable, elasticidad y resistencia de materiales, mecánica de fluidos). El primer concepto que se ha de fijar es el de máquina.

En el año 1875, Franz Reuleaux (1829-1905)¹, profesor de la Königlichem Gewerbe-Akademie de Berlín, publica una obra esencial, *Theoretische Kinematik*. En ella el autor define una máquina como «una combinación de cuerpos resistentes dispuestos de manera que obliguen a las fuerzas de la naturaleza a realizar un trabajo mediante unos movimientos determinados». De este concepto se derivan tres cuestiones clave:

- La máquina es un sistema que posee cierta utilidad: es creada para realizar una función.
- Lo anterior se realiza merced a la combinación de un conjunto de sólidos que están unidos entre sí, de modo que existe entre ellos la posibilidad de desplazamientos relativos, pudiéndose de este modo transmitir y transformar fuerzas y movimientos.
- Para que los sólidos puedan ejercer su función transmisora es necesario que posean resistencia a la deformación y a la rotura.

Para estudiar cada uno de estos aspectos, Reuleaux distingue cuatro partes:

- La **ciencia general de las máquinas**, que considera su universalidad y las trata desde un punto de vista descriptivo: qué ingenios existen y cómo están formados. Su estudio y su clasificación se llevan a cabo con un procedimiento teleológico, demostrando que la disposición de sus diferentes órganos está supeditada a la forma en la que realizan su trabajo útil.
- La **teoría de máquinas**, que analiza las fuerzas sensibles que entran en juego en su funcionamiento y los movimientos que de él resultan para deducir las consecuencias relativas al mejor modo de utilización.

¹ Estudió en el Polytechnikum Karlsruhe, institución creada a semejanza de la École Polytechnique en 1825.

- La **ciencia de la construcción de las máquinas**, que estudia las propiedades que deben otorgarse a los cuerpos que las componen, y de una manera muy especial su resistencia, de modo que los cuerpos mantengan su forma cuando están sometidos a acciones tanto sensibles (accionamientos) como latentes (desgastes y rozamientos).
- La **teoría de mecanismos**, que considera los movimientos que se producen en las máquinas como consecuencia de las restricciones geométricas que introducen las uniones entre sus elementos. Se trata de un análisis puramente cinemático, es decir, no tiene en cuenta las acciones aplicadas sobre la máquina.

Reuleaux sintetiza de forma magistral todos los aspectos bajo los que se pueden estudiar las máquinas. Tal como afirma, las cuatro ramas interactúan continuamente de manera que solo en conjunto pueden dotar al diseñador de soluciones completas a sus problemas. Dicho conjunto es lo que viene a constituir la nueva disciplina, que conforme avanza el siglo XIX gana en identidad y se difunde, pero a la vez se hace más compleja y especializada. Relatar esta historia en detalle sería ir más allá del alcance de este capítulo, en el que daremos solo un pequeño esbozo que sirva para enmarcar su difusión en nuestro país.

II

EL DESARROLLO DE LA CIENCIA DE LAS MÁQUINAS

La reflexión sobre las máquinas se convierte a lo largo del siglo XIX en un área de conocimiento cada vez más coherente y diferenciada. Recoge aportaciones de las ramas científicas afines y las dirige a aplicaciones prácticas, pero además plantea líneas teóricas específicas.

Hasta alcanzar la mitad del siglo, las instituciones académicas francesas tienen un papel significativo en el comienzo de este proceso y en su desarrollo. Las necesidades del Estado, por una parte, y las de la naciente industria, por otra, dan lugar a una diferenciación en los procesos formativos, en los cuales pueden vislumbrarse tres tendencias que van a tener consecuencias sobre los contenidos de los cursos de máquinas y sobre el progreso de la disciplina:

- En la primera mitad del siglo XIX, el nacimiento y el desarrollo de la ciencia de las máquinas está ligado a ingenieros que se han educado en la *École Polytechnique*, puesta en marcha en 1794. La formación va dirigida esencialmente a los cuadros técnicos de la Administración y posee un perfil muy científico.
- El mismo año que la *École Polytechnique*, se crea el *Conservatoire des Arts et Métiers*. Su objetivo es difundir las innovaciones técnicas en la industria. Con el tiempo, el establecimiento incluye entre sus objetivos la educación de los cuadros medios de los talleres en las técnicas de diseño y construcción de

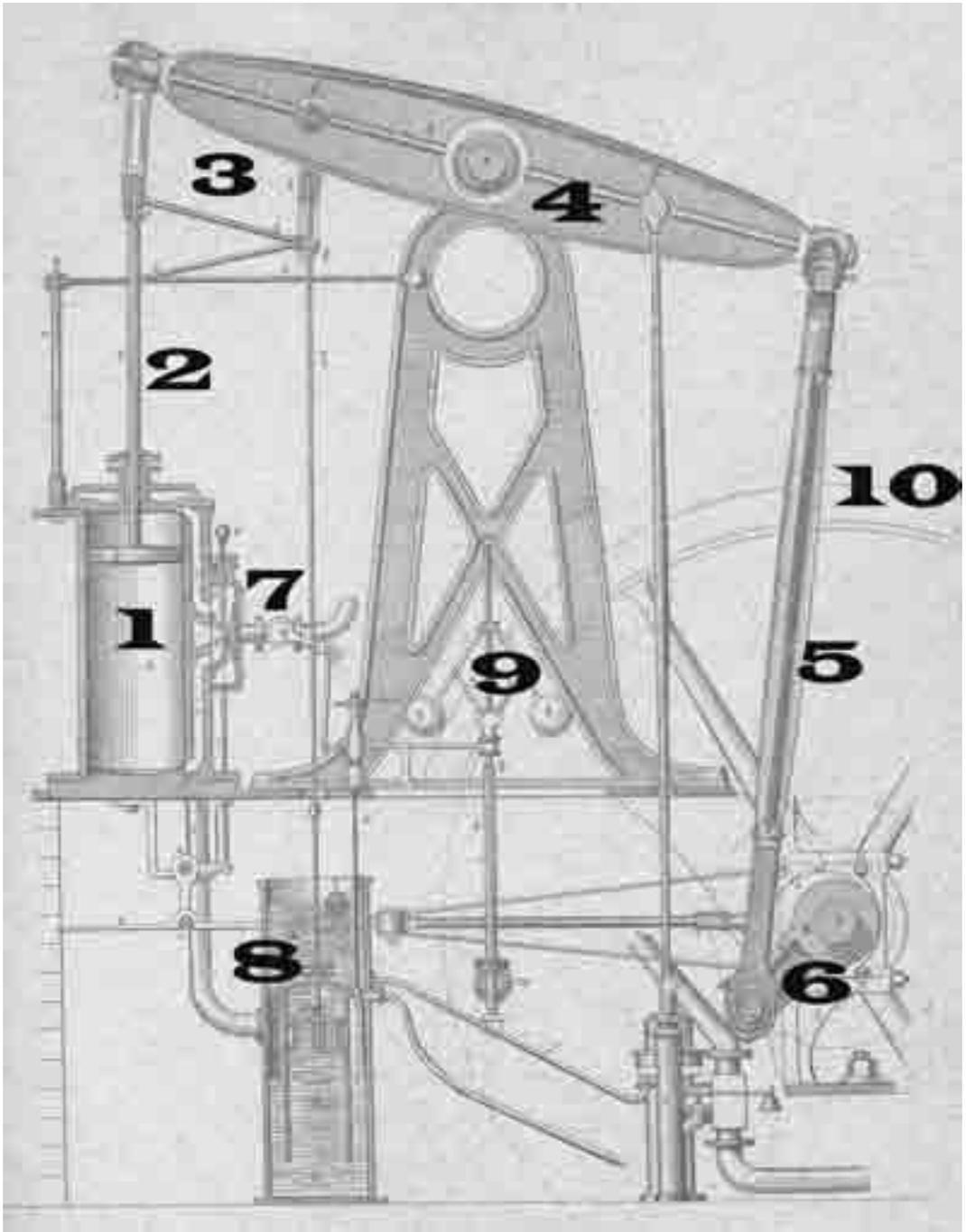
11.1. Máquina de vapor de doble efecto, en Franz Reuleaux, Tratado general de mecánica (1895): Partiendo de esta lámina, que muestra un bien conocido ejemplo, se explican los problemas abordados por la ciencia de las máquinas.

La máquina de vapor es un motor, un ingenio que transforma energía térmica en mecánica. Para ello dispone de un cilindro (1), en el que se introduce vapor de agua que alternativamente genera presión en las dos caras de un émbolo y hace que este se mueva hacia arriba y hacia abajo en movimientos de traslación rectilínea. El desplazamiento del émbolo se transmite a través de una varilla (2) mediante un mecanismo (3) hasta un balancín (4). A través de una biela (5), el otro extremo del balancín está conectado a una manivela (6) que va unida al eje de salida. Para controlar su funcionamiento, se dispone de diversos elementos auxiliares encargados de la alimentación del vapor al cilindro (7), de su condensación (8) y de la regulación del movimiento (9, regulador centrífugo, y 10, volante de inercia).

La máquina de vapor de doble efecto genera y transmite fuerzas verticales a través del émbolo, tanto en el movimiento de subida como en el de bajada. Ello obliga a cambiar la cadena de transmisión entre émbolo y balancín que existe en las máquinas de simple efecto, que solo producen fuerza en el movimiento descendente, por una varilla rígida que pueda transmitir fuerzas a tracción y a compresión. Debido a que no se produce energía mecánica de forma continua, el funcionamiento de la máquina es poco regular, existiendo variaciones de velocidad de rotación en el eje de salida en cada ciclo de trabajo. Para mejorar la regularidad, se introduce en la máquina un volante de inercia, dispositivo que permite acumular energía cinética cuando la máquina está en aceleración y restituirla cuando está decelerando. Los dos problemas planteados, el de la configuración de la máquina para obtener un mayor rendimiento y el de la introducción de elementos que regularicen la transmisión de la energía forman parte de la **teoría de máquinas**.

La varilla que conecta el émbolo con el balancín posee un movimiento de traslación rectilíneo, pero los puntos de este último se mueven en trayectorias circulares. Esta conexión exige un mecanismo intermedio que acople ambos tipos de movimiento, en el que, gracias a las longitudes de las varillas que lo componen, el punto de conexión del cuadrilátero con la varilla del émbolo realice una trayectoria casi rectilínea. Las primeras máquinas de vapor fueron utilizadas para el accionamiento de bombas alternativas para el achique del agua en las minas; por lo tanto, los movimientos de entrada y salida de la máquina eran de traslación rectilínea. Con el tiempo, empezaron a utilizarse en el accionamiento de otras máquinas que empleaban sobre todo movimientos rotatorios. Por esa razón se introduce en el diseño una nueva configuración del mecanismo (balancín, biela, manivela) que permite obtener un movimiento de rotación continua en el eje de salida. Estas dos cuestiones, el diseño de dispositivos en los que algunos de sus puntos sigan trayectorias determinadas y el de la selección de sus elementos para transformar un cierto movimiento de entrada en otro de salida, son tratadas a través de los métodos de la **teoría de mecanismos**.

El dimensionamiento de los elementos que forman parte de la máquina exige, en primer lugar, una selección de los materiales con los que van a ser construidos y la aplicación de criterios de fallo mediante planteamientos que derivan de la teoría de la elasticidad y de la resistencia de materiales. La selección de los materiales y la forma de los elementos viene también determinada por la capacidad de fabricarlos. Un elemento clave para la mejora del rendimiento en las máquinas de vapor fue la posibilidad de construir cilindros con elevada precisión, para evitar las fugas de vapor entre las dos cámaras, gracias a un buen ajuste cilindro-émbolo. La selección de materiales y procesos de fabricación, así como el dimensionamiento de los elementos de la máquina es cuestión tratada en la **construcción de máquinas**.



máquinas. Dado el tipo de alumnado, la enseñanza es muy básica y evita al máximo la utilización de herramientas matemáticas complejas.

- La educación de los cuadros técnicos superiores para la industria es el objetivo de la *École Centrale des Arts et Manufactures*, creada en 1829. Se pretende formar ingenieros generalistas, convertidos en verdaderos «médicos de las fábricas», que integren todos los saberes y sus aplicaciones en una nueva mecánica industrial.

La mayor parte de los personajes asociados a la creación del nuevo saber han adquirido una sólida formación teórica en la *Polytechnique*, pero simultáneamente han sido profesores en otras instituciones. Todos tratan de superar la distancia existente entre los planteamientos teóricos y los problemas reales a los que se enfrentan los constructores y los usuarios de las máquinas en las fábricas. Ello exige un esfuerzo de simplificación de planteamientos matemáticos y un ajuste experimental a sus condiciones reales de funcionamiento.

II.1. *La teoría de máquinas*

En 1810 André Guenyeveu (1782-1861)² publica un *Essai sur la science des machines*, en el que señala:

La Mécanique ou la science de l'équilibre et du mouvement a fait de très-grands progrès dans ces derniers temps ; elle est devenue, entre les mains de M. de Lagrange, le modèle de toutes les autres sciences, puisque cet illustre géomètre a donné des formules qui comprennent tous les cas possibles, et ramènent ainsi tous les problèmes à de simples questions d'analyse mathématique. Cependant, la théorie des machines, c'est-à-dire, la connaissance de leurs effets, l'art de les appliquer et de les construire, n'a point encore été perfectionnée, et les beaux travaux des géomètres n'ont encore exercé aucune influence sensible sur cette partie aussi intéressante qu'utile, des sciences physico-mathématiques [...] ; celui qui construit des machines est rarement assez versé dans les mathématiques pour en faire des applications souvent très-difficiles et très-déliques ; le géomètre, au contraire, ignore le plus souvent les détails et tout ce qui influe sur le bon effet des machines ; et tous les deux sont d'ailleurs promptement dégoûtés d'un travail pénible, dont les résultats ne sont jamais bien satisfaisants.

La théorie des machines doit donc faire une science à part : l'expérience et l'observation en fourniront les bases, et le raisonnement, aidé de l'analyse mathématique, en déduira les lois générales et particulières de leur équilibre et de leur mouvement ; elle doit présenter des formules qui contiennent toutes leurs propriétés mécaniques, et à l'aide desquelles on puisse prévoir et calculer leurs effets dans tous les cas.

En palabras de d'Alembert en su prefacio al *Traité de dynamique* de 1743, hay dos tipos de ciencias: «las que se apoyan sobre los principios físicos, es decir, sobre verdades de experiencia, o incluso de simples hipótesis, y las que tratan del cálculo de magnitudes y propiedades generales del espacio, es decir, el Álgebra, la Geometría y

² Alumno de la *École Polytechnique* de la promoción de 1800 y profesor de Metalurgia en la *École des Mines de París* de 1822 a 1840.

la Mecánica, que pueden contemplarse como marcadas por el sello de la evidencia». La mecánica racional corresponde al segundo caso señalado. Estudia el movimiento de los cuerpos materiales y deduce, a partir de hipótesis muy simplificadas sobre la constitución de los mismos (por ejemplo, la de la su indeformabilidad o la de ausencia de rozamientos), las leyes matemáticas que rigen su movimiento. Guenyveau contempla una teoría de máquinas, emancipada de la mecánica racional, en la que la experiencia sea el punto de partida para la obtención de las leyes generales que afectan al equilibrio y al movimiento de estos ingenios. Dicha experiencia debe permitir la introducción de las propiedades mecánicas de las máquinas reales (por ejemplo, la deformabilidad de los sólidos y la presencia de rozamientos).

II.1.1. Las máquinas en movimiento

La primera complejidad procede del concepto de máquina como sistema mecánico en movimiento. Desde la más remota antigüedad, los tratados de mecánica han estado interesados por las máquinas en reposo, es decir, en condiciones de equilibrio estático. Estudian únicamente las denominadas *máquinas simples* (palanca³, cuña⁴, plano inclinado, polea⁵ y tornillo). Hay algo de incompleto o de limitado en este planteamiento. Guenyveau dice a propósito de dicha situación:

Le calcul des machines considérées dans l'état d'équilibre, est, ainsi qu'on peut le présumer, beaucoup plus simple et plus facile que lorsqu'elles sont supposées en mouvement [...] c'est aussi à ce cas que s'arrêtent la plupart de ceux qui ont besoin de juger de l'effet des machines; et lorsqu'ils commettent des erreurs considérables, c'est presque toujours en étendant aux machines en mouvement, et par des suppositions plus ou moins éloignées de la vérité, les résultats qu'ils ont obtenus pour le cas d'équilibre.

Un personaje muy importante para el comienzo del desarrollo de la teoría de máquinas es Lazare-Nicolas-Marguerite Carnot (1753-1823). En abril de 1777 la Academia Real de Ciencias francesa convoca un concurso a resolver en 1779. Gira en torno a la teoría de las máquinas simples, teniendo en cuenta el rozamiento y la rigidez de las cuerdas, y se exige que las leyes que representen el efecto de dichos fenómenos sean deducidas a partir de nuevas experiencias, el todo aplicable en la marina a máquinas del tipo poleas, cabrestantes⁶ y planos inclinados. En su primera edición, el premio queda desierto y en la segunda, en 1781, Carnot presenta una memoria que, aunque no obtiene el premio, consigue una mención de honor. Se trata del origen de su *Essai sur les machines en général*, publicado en 1786, y vuelto a editar con modificaciones en 1803 bajo el título *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouve-*

³ Máquina compuesta por una barra que puede girar libremente alrededor de un punto fijo.

⁴ Pieza de sección triangular utilizada para calzar, levantar pesos, fijar y separar.

⁵ Rueda alrededor de la cual pasa una cuerda o un cable y que suele emplearse para elevar pesos.

⁶ Rodillo giratorio en el que se enrolla una cuerda o cable y se utiliza normalmente para arrastrar cargas.

ment. La primera cuestión destacable de este autor es su deseo de elaborar una teoría general de las máquinas:

cet Essai n'a pour objet que les Machines en général ; chacune d'elles a ses propriétés particulières: il ne s'agit ici que de celles qui sont communes à toutes; ces propriétés, quoique assez nombreuses, sont en quelque sorte toutes comprises dans une même loi fort simple : c'est cette loi qu'on s'est proposé de rechercher, de démontrer & de développer, en envisageant toujours les Machines sous le point de vue le plus général & le plus direct.

II.1.2. La transmisión de energía

El planteamiento exclusivamente estático aplicado a las máquinas impide percibir lo que verdaderamente hay en juego. Los tratados de mecánica clásicos, al analizar las máquinas simples, no falsean la realidad, pero pueden ser interpretados de forma incorrecta, como de hecho sucede. Gracias a los dispositivos mecánicos, pequeñas fuerzas pueden equilibrar otras de gran magnitud, lo que la gente poco instruida puede entender como una capacidad cuasi mágica de las máquinas para multiplicar sus efectos.

Sin embargo, lo que está en juego en una máquina no es solo el equilibrio de fuerzas, sino la capacidad para mover dichas fuerzas. Lazare Carnot señala que el problema es también y sobre todo un problema energético. Repite así el viejo principio de la dinámica: en las máquinas en movimiento se pierde en tiempo o en velocidad lo que se gana en fuerza. Hasta ese momento, el problema de las máquinas había sido tratado siempre como una cuestión de equilibrio de fuerzas, considerando las que permiten que estas permanezcan en reposo o en movimiento. A propósito de la famosa frase de Arquímedes «Dadme un punto de apoyo y levantaré el mundo», dice:

Si il eût été question de faire naître un mouvement effectif, alors Archimede auroit été obligé de le tirer tout entier de son propre fond ; aussi n'auroit il pu être que très-petit, même après plusieurs années.

La máquina no es solo un problema de equilibrio de fuerzas: es también un problema de movimientos y de energías. Además, es un medio de transmisión de energía, y en dicha transmisión se producen pérdidas, de modo que la entrante no coincide con la saliente. A partir de un planteamiento general, Carnot establece las condiciones para que se produzca el máximo aprovechamiento de la energía transmitida; es decir, plantea un problema de optimización:

On trouvera encore parmi ces réflexions une des plus intéressantes propriétés des Machines, qui, je crois, n'a pas encore été remarquée ; c'est que pour leur faire produire le plus grand effet possible il faut nécessairement qu'il n'arrive aucune percussion, c'est-à-dire, que le mouvement doit toujours changer par degrés insensibles.

Lo que viene a decir es que el máximo aprovechamiento de una fuerza se produce cuando su dirección coincide con la del desplazamiento del sólido sobre el que incide. Detrás del planteamiento de Carnot subyace un concepto fundamental para la

teoría de máquinas, el de trabajo, que él denomina *momento de actividad de una potencia* y que será desarrollado más adelante.

II.1.3. Las partes de la máquina

Entre los años 1818 y 1821 Giuseppe Antonio Borgnis (1781-1863) publica su *Traité complète de mécanique appliquée aux arts*, tratado en nueve volúmenes que contiene una de las mayores recopilaciones de máquinas de la época clasificadas por ámbito de aplicación. Su propuesta de clasificación de los mecanismos basada en la función a desempeñar es de la mayor importancia para la teoría de máquinas.

El primero de los volúmenes está dedicado a la composición de las máquinas. Borgnis propone dividir sus órganos, según la función que desempeñan, en

- *receptores*, destinados a recibir la acción inmediata de los agentes motores⁷;
- *comunicadores*, cuya función es transmitir el movimiento;
- *modificadores*, que varían la velocidad de los diversos móviles;
- *soportes*, que sirven de centro de rotación o de apoyo a los órganos móviles;
- *reguladores*⁸, que corrigen las irregularidades de los movimientos;
- *operadores*, que producen el efecto final.

Estas denominaciones son recogidas en la mayor parte de los tratados de máquinas posteriores. El problema de la optimización en la transmisión de la energía es de especial relevancia en los órganos receptores y dará lugar, con el tiempo, a una teoría de motores en sus dos versiones principales, la hidráulica y la de las máquinas de vapor, que hacia el final del siglo incorporará la de los motores de combustión interna y la de los motores eléctricos.

II.1.4. La comparación entre los efectos de las máquinas: el trabajo

Si la obra de Lazare Carnot se publica en 1786, sus ideas no tienen continuidad hasta Gaspard-Gustave Coriolis (1792-1843)⁹, quien en 1829 publica *Du calcul de l'effet des machines*. El título ampliado del libro indica claramente su objetivo: *Consideraciones sobre el empleo de los motores y su evaluación, para servir de introducción al estudio especial de las máquinas*. En su introducción señala lo siguiente:

Je me suis proposé dans cet Ouvrage de présenter toutes les considérations générales qui tendent à éclairer les questions sur l'économie de ce qu'on appelle communément la force ou la puissance mécanique, et de donner des moyens de reconnaître facile-

⁷ Por ejemplo, en el caso de que el agente motor sea el agua, los principales receptores son los diferentes tipos de ruedas y turbinas hidráulicas.

⁸ Sistemas que actúan sobre la alimentación de energía de una máquina con el fin de ajustarla a la requerida en cada instante.

⁹ Perteneció a la promoción de 1808 de la École Polytechnique. Fue profesor de Mecánica General en 1829 y de Mecánica Aplicada de 1832 a 1837 en la École Centrale des Arts et Manufactures, así como director de estudios en la École Polytechnique en 1838.

ment quels sont les avantages et les inconvénients de certaines dispositions dans la construction d'une machine. [...]

J'ai employé dans cet Ouvrage quelques dénominations nouvelles : je désigne par le nom de travail la quantité qu'on appelle assez communément *puissance mécanique*, *quantité d'action* ou *effet dynamique*.

Coriolis establece la existencia de dos tipos de fuerzas: las motrices, que van en la dirección del movimiento, y las resistentes, que se oponen a este. La fuerza aplicada a lo largo de un desplazamiento produce un cambio de la velocidad de un sólido calculable a través de la variación de la fuerza viva¹⁰. Para la magnitud *fuerza por desplazamiento* escoge la palabra *trabajo*:

On attache en effet au mot *travail*, dans ce sens, l'idée d'un effort exercé et d'un chemin parcouru simultanément : car on ne dirait pas qu'il y a un travail produit, lorsqu'il y a seulement une force appliquée à un point immobile, comme dans une machine en équilibre ; on n'appliquerait pas non plus l'expression de travail à un déplacement opéré sans aucune résistance vaincue.

El trabajo sirve para comparar el efecto de las máquinas, conjuntos de cuerpos en movimiento dispuestos de manera que forman una especie de canal por donde se transmite la energía. En esa transmisión se producen pérdidas debido al rozamiento, a la elasticidad de los cuerpos, a los choques, etc., por lo que el trabajo disponible a la salida es menor que el introducido. En consecuencia, el rendimiento de la máquina depende de su diseño.

El autor enuncia la ecuación de las fuerzas vivas, transformándola en el principio fundamental de la transmisión del trabajo:

Dans tout système de corps en mouvement, la différence entre la somme des quantités de travail dues aux forces mouvantes et la somme des quantités de travail dues aux forces résistantes, pendant un certain temps, est égale à la variation de la somme des forces vives de toutes les masses du système pendant le même temps.

Este principio se va a convertir en una herramienta esencial para el cálculo de la variación de la velocidad de la máquina en función de las fuerzas aplicadas y para establecer las condiciones bajo las cuales las máquinas cíclicas¹¹ funcionan en régimen permanente¹².

¹⁰ Según la propuesta de Leibniz (1646-1716), los cuerpos animados de movimiento tienen capacidad de realizar un efecto dependiente del cuadrado de la velocidad que poseen. Por ejemplo, si arrojamus un cuerpo hacia arriba, la altura alcanzada dependerá del cuadrado de la velocidad a la que se lance. La *fuerza viva*, producto de la masa de un cuerpo por el cuadrado de su velocidad, es igual al doble de la actualmente denominada energía cinética. En contraposición, la *fuerza muerta* es la que no produce ningún movimiento, por ejemplo la gravedad aplicada a un cuerpo que reposa en un plano horizontal.

¹¹ Las que repiten sus posiciones en ciclos sucesivos (gran parte de las máquinas).

¹² La velocidad de la máquina permanece constante en cada posición en los sucesivos ciclos.

II.1.5. La moneda mecánica

Claude-Louis-Marie-Henri Navier (1785-1836)¹³ publica en 1819 una nueva edición de un célebre tratado de Belidor del siglo XVIII añadiendo un conjunto de notas de entre las cuales queremos destacar la titulada «Sur les principes du calcul et de l'établissement des machines et sur les moteurs». En ella incorpora una dimensión económica al concepto de trabajo:

La comparaison de diverses machines, pour le négociant et le capitaliste, se fait d'avoir une unité naturellement d'après la quantité de travail qu'elles exécutent, et le prix de ce travail. [...]

Supposons en effet une personne qui possède un moulin à blé, et qui désirerait, au moyen de quelques changements dans son mécanisme, en faire un moulin à scier. Elle ne pourrait juger de l'avantage ou du désavantage de cette opération, qu'autant qu'elle saurait évaluer, d'après la quantité de farine produite par son moulin, la quantité de bois qu'il serait dans le cas de débiter. [...] Cet exemple suffit pour montrer la nécessité d'établir une sorte de monnaie mécanique, si l'on peut s'exprimer ainsi, avec laquelle on puisse estimer les quantités de travail employées pour effectuer toute espèce de fabrication. [...] Le genre de travail le plus propre à servir à l'évaluation de tous les autres est l'élévation verticale des corps pesants.

II.1.6. La complejidad del mundo real: la mecánica aplicada

Los tratados de Jean-Victor Poncelet (1788-1867)¹⁴, particularmente su *Traité de mécanique appliquée aux machines* en sus sucesivas reediciones, suponen la culminación académica de las diferentes aportaciones realizadas a lo largo de la primera mitad del siglo XIX en torno a la teoría de máquinas. En la introducción a su *Mécanique industrielle* Poncelet regresa al debate entre mecánica racional y mecánica aplicada:

Enfin n'avoue-t-on pas, tous les jours, qu'un espace immense sépare la Mécanique, telle qu'on l'enseigne dans nos écoles, de ses applications mêmes les plus usuelles et les plus simples? Là c'est la compressibilité ou la flexibilité naturelles des corps; ici c'est leur inertie, ce sont les résistances, de toute espèce, qu'ils opposent au mouvement et à l'action des forces, qui viennent, si non démentir complètement, du moins modifier tellement les déductions théoriques que les résultats diffèrent souvent du simple au quadruple ou au quintuple.

Poncelet apuesta por un tipo de enseñanza para sus jóvenes alumnos

appuyée de données positives et de chiffres exacts, nourrie de principes d'une application immédiate dans les arts, une instruction telle enfin qu'elle puisse porter des fruits dès les premiers pas de l'élève dans l'étude.

¹³ Alumno de la promoción de 1802 de la École Polytechnique, profesor de 1819 a 1835 del curso de Mecánica Aplicada en la École Nationale des Ponts et Chaussées y de Mecánica en la École Polytechnique.

¹⁴ De la promoción de 1807 de la École Polytechnique, fue profesor de Mecánica en la École d'Artillerie et du Génie de Metz en 1825 y de Mecánica Aplicada en la Facultad de Ciencias de la Universidad de París entre 1837 y 1848. De 1848 a 1850 fue director de la École Polytechnique.

La preocupación de Poncelet por la aplicabilidad de los conocimientos confiere riqueza de detalles a su tratado, tanto en los problemas planteados como en las soluciones adoptadas. Por enumerar solo algunos, destacamos los siguientes: la necesidad de tener en cuenta en ciertos casos la deformación de los órganos; la separación del estudio del efecto útil en los órganos receptores y en las herramientas; el estudio del arranque, del régimen uniforme y del régimen transitorio; la regularización del movimiento y los volantes de inercia¹⁵; los criterios de implantación de las máquinas; un amplio estudio sobre los reguladores; un tratamiento detallado de los diferentes elementos que sirven para transmitir el movimiento con una relación de transmisión dada: ruedas de fricción¹⁶, correas, cadenas, engranajes¹⁷ y levas; un estudio detallado de las resistencias pasivas en las máquinas donde aparecen analizados quince tipos de casos diferentes que se emplean comúnmente; un estudio de los fenómenos de choque aplicado en diversas situaciones.

II.1.7. La mecánica experimental

La nueva mecánica quiere aproximarse a la realidad, y para ello necesita medirla. Por ejemplo, para poder analizar las condiciones de movimiento, para poder evaluar las pérdidas de energía, para poder valorar el rendimiento, deben estimarse las resistencias pasivas, los rozamientos.

La biografía de Charles-Augustin Coulomb (1736-1806) posee en sus comienzos un paralelismo notable con la de Carnot. Formado en la École Royale du Génie de Mézières, en la que fue alumno de Bossut, se presentó al mismo concurso de la Academia de las Ciencias, pero en este caso y en su segunda edición fue el ganador con la memoria titulada *Théorie des machines simples*.

Para desarrollar los modelos que permitan evaluar los rozamientos entre dos cuerpos en contacto a punto de deslizar (capítulo primero) y con deslizamiento relativo (capítulo segundo), Coulomb realiza un conjunto de experiencias en las que va variando los materiales en contacto, la extensión de sus superficies, la presión entre las mismas y el tiempo transcurrido desde que se ponen en contacto. Sus resultados, que son utilizados a lo largo del siglo para poder evaluar los rozamientos, quedan en gran medida confirmados mediante experiencias más amplias y precisas, como las contenidas en la memoria *Nouvelles expériences sur le frottement*, publicada en 1832 por Arthur Jules Morin (1795-1880)¹⁸.

El tratado de Coriolis del que hablamos anteriormente, así como otros muchos tratados de máquinas de la época, contiene tablas (dieciocho páginas, en este caso)

¹⁵ Elementos giratorios que actúan como acumuladores de energía en las máquinas.

¹⁶ Transmisión entre dos ejes por presión entre ruedas solidarias a cada uno.

¹⁷ Transmisión rígida de potencia entre dos ejes por medio de ruedas dentadas.

¹⁸ Alumno de la École Polytechnique, de la promoción de 1813. Militar, fue profesor de la École d'application de Metz y del Conservatoire Impérial des Arts et Métiers.

en las que se especifican las cantidades de trabajo dinámico necesarios para producir diversos efectos útiles, y las que producen diferentes tipos de motores. La obtención de este tipo de información lleva aparejado el empleo de diferentes aparatos de medida, también recogidos en la literatura. Un ejemplo de tratado dedicado a la descripción, el diseño y la utilización de dispositivos dinamométricos¹⁹ es la *Notice sur divers appareils dynamométriques* de Morin, publicada en su segunda edición en 1841.

II.1.8. La mecánica industrial

Pierre-Charles-François Dupin (1784-1873)²⁰, tras una serie de viajes a Gran Bretaña en los que pudo conocer de primera mano su desarrollo industrial y sobre todo experiencias concretas de formación de los jóvenes profesionales fuera del horario de trabajo, en 1819 propone la creación en el Conservatorio de una alta escuela de aplicación de los conocimientos científicos al comercio y a la industria con tres cátedras: una de Mecánica y Geometría —que ocupa el propio Dupin—, otra de Química Industrial y una tercera de Economía Industrial. La formación va dirigida a artistas (técnicos), obreros y subjesos y jefes de taller. Este tipo de alumno exige abandonar planteamientos de la mecánica muy teóricos, basados en el uso del cálculo diferencial e integral, y pasar a utilizar métodos de carácter descriptivo y datos sacados de la experiencia y de la observación, con un formalismo matemático mínimo y elemental. En la enseñanza en torno a la industria esta mecánica aplicada pasa a denominarse *mecánica industrial*, materia de gran éxito incluso en las escuelas de Ingeniería. Los tratados de los que disponemos acerca de ella, aunque tienen perfiles bastante diversos, responden en su mayoría a este nuevo planteamiento. Entre ellos queremos destacar el de Gérard-Joseph Christian —director del Conservatorio en 1816—, *Traité de mécanique industrielle*, de 1822; el de Dupin, *Géométrie et mécanique des arts et métiers et des beaux-arts* —en tres tomos, el segundo dedicado a la mecánica y el tercero a la dinámica—, publicado en 1826; y el de Poncelet, *Mécanique Industrielle*, de 1839.

II.2. La teoría de mecanismos

En 1834 André-Marie Ampère (1775-1836) publica su *Essai sur la philosophie des sciences*, y en él comenta lo siguiente:

Il faudra définir une machine, non pas comme on le fait ordinairement, un instrument à l'aide duquel on peut changer la direction et l'intensité d'une force donnée, mais bien un instrument à l'aide duquel on peut changer la direction et la vitesse d'un mouvement donné. On rend ainsi cette définition indépendante de la considération des forces qui agissent sur la machine ; considération qui ne peut servir qu'à distraire l'attention de celui qui cherche à en comprendre le mécanisme. Pour se faire une idée nette, par exemple, de l'engrenage à l'aide duquel l'aiguille des minutes d'une montre fait douze

¹⁹ Los destinados a la medida del trabajo desarrollado por una máquina.

²⁰ Alumno de la promoción de 1801 de la École Polytechnique, fue profesor de Mecánica en el Conservatoire des Arts et Métiers desde 1819 hasta 1854.

tours, tandis que l'aiguille des heures n'en fait qu'un, est-ce qu'on a besoin de s'occuper de la force qui met la montre en mouvement? L'effet de l'engrenage, en tant que ce dernier règle le rapport des vitesses des deux aiguilles, ne reste-t-il pas le même, lorsque le mouvement est dû à une force quelconque autre que celle du moteur ordinaire; quand c'est, par exemple, avec le doigt qu'on fait tourner l'aiguille des minutes?

Ampère señala un nuevo problema que los que se han dedicado a desarrollar la teoría de máquinas han pasado por alto. Sumergidos en cuestiones como la transmisión y rendimiento energético, no han tenido en cuenta que en muchas máquinas o partes de ellas el objeto fundamental del diseño es la transformación del movimiento.

Charles-Pierre Lefebvre de Laboulaye (1813-1886)²¹ es autor de uno de los primeros tratados de la nueva teoría de mecanismos. En 1848, en la lección de apertura del curso de Cinemática en la Association Polytechnique comenta lo siguiente:

Tous les traités de mécanique industrielle qui ont paru jusqu'ici traitent de la mécanique dynamique, et surtout des moyens de communiquer le plus avantageusement à un récepteur le travail engendré par les agents physiques, de diminuer les résistances qui s'opposent au mouvement, etc. Cet enseignement, utile et indispensable, est néanmoins bien insuffisant pour l'étude des machines proprement dites, et en arrivant dans les ateliers après avoir acquis les connaissances théoriques que l'on puise dans les cours les plus complets de mécanique, on est étonné de la difficulté que l'on rencontre à comprendre le mode d'action des nombreuses machines opératrices qui vous entourent.

La teoría de máquinas, tan centrada en los procesos de transmisión eficaz de la energía, ha olvidado que sus diversas aplicaciones exigen de los órganos operadores diferentes combinaciones de movimientos, y esto solo se logra mediante mecanismos que transforman los transmitidos desde los receptores a los operadores de múltiples formas. La solución a este problema le corresponde a la teoría de mecanismos.

II.2.1. La selección de mecanismos

Robert Willis (1800-1875) imparte desde 1837 lecciones de Mecanismos en la Universidad de Cambridge, y en 1841 publica un famoso tratado dedicado explícitamente a esta nueva teoría, *Principles of mechanism*. En su prefacio identifica sus objetivos:

Science that will enable us either to reduce the movements and actions of a complex engine to system, or to give answers to the questions that naturally arise upon considering such engines; for example, are the means by which the results are obtained the best that might have been employed? Or what are the various methods that might have been substituted for them?

Coincidiendo con el comienzo de la École Polytechnique, mucho antes de que Ampère definiera la cinemática y de que Laboulaye y Willis escribieran sus tratados se ha empezado a escribir la historia de la cinemática y la teoría de mecanismos.

²¹ De la promoción de 1831 de la École Polytechnique.

El problema cinemático es en primera instancia un problema de movimientos de sólidos y de trayectorias de puntos, es decir, un problema geométrico. No por casualidad la primera persona que incorpora un planteamiento cinemático al análisis de las máquinas es Monge, profesor de Geometría Descriptiva. En el curso de Máquinas que propone para la École Polytechnique plantea el estudio de sus elementos clasificados según el tipo de transformación del movimiento. El complemento bibliográfico de este novedoso curso es el libro de José María de Lanz y Agustín de Betancourt *Essai sur la composition des machines*, publicado en 1808. Con este curso y con este libro muchos consideran que tiene lugar el nacimiento de la teoría de mecanismos²².

La idea de Monge de una máquina compuesta de elementos transformadores del movimiento y la de Willis de la necesidad de buscar soluciones alternativas para diseñar una aplicación específica se abordan a través de la definición y la clasificación de los mecanismos elementales constitutivos. Las propuestas de diferentes criterios de clasificación de mecanismos y el debate sobre su mayor o menor bondad hacen correr ríos de tinta y centran de manera especial todos los tratados de mecanismos en el tramo central del siglo XIX²³.

II.2.2. La importancia de la geometría

La cinemática se define como la geometría del movimiento. En ella se estudian no solo las trayectorias de los puntos, las rotaciones y las traslaciones de los sólidos, sino también las variables cinemáticas derivadas al relacionar las posiciones ocupadas por los puntos y los sólidos con el tiempo: velocidades y aceleraciones instantáneas. Sin embargo, en algunos elementos de máquinas, su forma, es decir, su geometría, desempeña un papel importante en la transmisión del movimiento y de las fuerzas, lo que se hace especialmente evidente en el caso de los engranajes. Aunque estos vienen siendo utilizados por el hombre desde la más remota antigüedad, hasta los primeros años del siglo XVIII no se elabora una teoría que estudie la geometría de sus dientes. Philippe de La Hire (1640-1718) empieza a desarrollar la teoría de los engranajes epicicloidales y posiblemente concibe el perfil de evolvente; Charles-Étienne-Louis Camus (1699-1768) puede decirse que incluye en su *Cours de mathématique*, de 1750, el primer tratado sobre el tema; Hachette incorpora en su *Traité des machines* una teoría geométrica de los cilíndricos y cónicos.

Willis propone como criterio esencial de clasificación de los mecanismos el de los movimientos relativos entre los sólidos, de donde deriva la importancia cinemática de las relaciones de transmisión. Cuando lo aplica a los trenes epicicloidales²⁴ se

²² Un análisis de la obra de Lanz y Betancourt, en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2005, pp. 148-157.

²³ Un sumario de dichas propuestas, *ibíd.*, pp. 157-159.

²⁴ Mecanismo de ruedas dentadas con el que se obtienen relaciones de transmisión precisas y elevadas, usando pocos engranajes. Se caracteriza por que algunas de las ruedas giran sobre ejes móviles.

obtiene un procedimiento nuevo de cálculo de las relaciones de transmisión en dichos trenes.

Théodore Olivier (1793-1853)²⁵ publica en 1842 la *Théorie géométrique des engrenages destinés à transmettre le mouvement de rotation entre deux axes non situés dans un même plan*, obra de síntesis y de culminación de los tratados anteriores en la que plantea el problema por dos vías: los engranajes de potencia con contacto lineal entre dientes y los de precisión con contacto puntual.

Los problemas geométrico-cinemáticos no se circunscriben a los engranajes. Entre otros muchos, el análisis del movimiento del mecanismo biela-manivela²⁶, base de las máquinas alternativas, el estudio de los mecanismos que trazan trayectorias cuasi rectilíneas²⁷ —el mecanismo de Watt²⁸ en la máquina de vapor—, la junta universal²⁹ o los mecanismos de levas³⁰ son algunos ejemplos de la aplicabilidad de la cinemática al diseño de las máquinas. Al igual que en la mecánica, a partir de una cinemática teórica se va construyendo otra aplicada, dentro de la cual se encuentra la teoría de mecanismos.

II.3. *La construcción de máquinas*

La máquina transmite y transforma fuerzas, energía y movimiento. Para ello, los elementos que la componen son en su mayor parte sólidos contruidos de ciertos materiales —madera, fundición, acero, bronce, etc.—. Como consecuencia de la transmisión de las fuerzas, los sólidos se ven sometidos a sollicitaciones —tracción, compresión, flexión, torsión— que pueden provocar su deformación excesiva o incluso su rotura. Para evitar esto, cada uno de los órganos debe ser diseñado escogiendo un material apropiado y dándole unas dimensiones adecuadas. El desarrollo a lo largo del siglo XIX de la teoría de la elasticidad y de la resistencia de materiales ha permitido avanzar en este campo, usándose sus resultados tanto en los diseños de construcciones como en los de máquinas. Esta rama de la mecánica aplicada se trata en el capítulo 8 del presente volumen. Nos ceñiremos a señalar algunas de las más importantes contribuciones al cálculo de elementos de máquinas.

Ferdinand Jakob Redtenbacher (1809-1863)³¹ es una figura primordial para la transformación científica de la ingeniería mecánica en Alemania. Aunque no fue su

²⁵ De la promoción de 1811 de la École Polytechnique, profesor de Mecánica en la École Centrale des Arts et Manufactures desde 1829 y de Geometría Descriptiva en el Conservatoire National des Arts et Métiers desde 1839.

²⁶ Mecanismo para convertir una rotación en traslación, y viceversa.

²⁷ Sobre el problema del guiado rectilíneo en la máquina de vapor, véase M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2005, pp. 159-177.

²⁸ Mecanismo articulado para generar trayectorias aproximadamente rectilíneas.

²⁹ Conexión entre dos segmentos de un eje que permite la variación del ángulo que forman.

³⁰ Mecanismos que permiten obtener movimientos complejos a partir de un accionamiento simple.

³¹ Profesor de Mecánica y Construcción de Máquinas a partir de 1841 y director entre 1857 y 1862 del Polytechnikum Karlsruhe, tuvo como alumno a Reuleaux.

libro más completo, el que alcanzó mayor éxito nacional e internacional fue el *Resultate für den Maschinenbau*, publicado en 1848, con seis ediciones en alemán y una en francés. El título completo del libro en español es *Resultados científicos y prácticos destinados a la construcción de las máquinas*, con el que da alguna de las claves de la obra: aunar bases científicas con gran cantidad de datos y representaciones provenientes de la práctica de la construcción. El capítulo segundo está dedicado a la resistencia de materiales, y el tercero, a la construcción de elementos, con un extenso catálogo de ellos.

La mayor parte de los libros de construcción tienen una estructura semejante: sin profundizar en justificaciones teóricas extensas, se acumulan las fórmulas de aplicación del cálculo resistente a una gran variedad de elementos, fórmulas repletas de coeficientes experimentales contenidos en un gran número de tablas. Al final, este tipo de libro se transforma en *manual*, *aide-mémoire*, *handbook* o *Lehrbuch*, de gran éxito en la práctica ingenieril. Al ya mencionado de Redtenbacher, y en una línea parecida, podríamos añadir el *Aide-mémoire de mécanique pratique* de Morin, de 1838; la obra *Formules, tables et renseignements pratiques* de Claudel, de 1845; el *Lehrbuch der Ingenieur und Maschinen-mechanik* de Weisbach, de 1846; el *Aide-mémoire général et alphabétique des ingénieurs* de Richard, de 1848; el *Der Constructor* de Reuleaux, de 1861; o *Le vignole des mécaniciens* de Armengaud, de 1863, entre los de mayor éxito.

II.4. La creación de una ciencia de las máquinas y su evolución hasta el final del siglo

Como se indicó anteriormente, Franz Reuleaux, en su *Theoretische Kinematik*, marca la madurez del nuevo saber. El autor argumenta que, mientras que la mecánica general se ocupa de los efectos producidos por las fuerzas en el caso más general, la teoría de máquinas solo estudia los efectos de las fuerzas en sistemas que tienen movimientos restringidos, en los que las limitaciones de movimiento son claves. Los planteamientos generales de la mecánica no le sirven al constructor de máquinas. Para él hay que crear una disciplina nueva, específicamente adaptada a su problema. La ciencia de las máquinas se ha venido desarrollando desde hace más de medio siglo, pero con Reuleaux cobra una autonomía radical.

Una parte esencial de toda rama del conocimiento es su lenguaje. Las aportaciones de Reulaux en este sentido son fundamentales: conceptos de par cinemático y sus tipos³², barra³³, cadena cinemática³⁴, mecanismo³⁵, etc. Además, incide en la importancia para el diseño del desarrollo de métodos de síntesis.

³² Cada una de las uniones entre dos sólidos que permiten un movimiento relativo definido. Por ejemplo: articulaciones, deslizaderas-guías, levas.

³³ Cada uno de los sólidos que forman el mecanismo.

³⁴ Conjunto de barras unidas mediante pares cinemáticos.

³⁵ Cadena cinemática con una barra fija, inmóvil.

Sería extraordinariamente difícil tratar de trazar en pocas líneas la evolución que se produce en la nueva disciplina a lo largo de las dos últimas décadas del siglo XIX. Solo señalaremos, y de forma breve, unos pocos aspectos que en su globalidad dan una idea de la amplitud y la complejidad de planteamientos que va adquiriendo. En cualquier caso, la acumulación de conocimientos hace necesaria una especialización, y ciertos estudios van consiguiendo su propia autonomía: los motores térmicos, las máquinas hidráulicas, las tecnologías de fabricación, la ingeniería de vehículos, la automática.

II.4.1. La teoría de máquinas y mecanismos

Desgajado del tronco común lo referente a los motores y a los operadores, queda una teoría que recoge tres aspectos esenciales de los órganos destinados a la transmisión de movimientos y fuerzas entre los motores y los operadores: la cinemática y la dinámica de mecanismos y la construcción de elementos de máquinas. Los tratados de máquinas de finales de siglo se centran en estos aspectos y dan lugar a un esquema que se ha mantenido hasta la actualidad. Un ejemplo claro de este planteamiento es el *The mechanics of machinery* de Alexander Blackie William Kennedy (1847-1928)³⁶, publicado en Londres en 1886.

II.4.2. La síntesis de mecanismos

Los métodos utilizados hasta ese momento han sido métodos de *análisis*; es decir, dado un mecanismo, se calcula el movimiento resultante a partir de un movimiento de entrada (cinemática) o de una acción aplicada (dinámica). Sin embargo, el problema del diseñador de nuevos mecanismos es el inverso: se parte de un movimiento resultante para una entrada dada y se trata de buscar mecanismos que satisfagan dicha relación. En esto consiste el problema de síntesis de mecanismos, que es bastante más complejo que el de análisis y no admite planteamientos genéricos. Un aspecto a tener en cuenta del desarrollo de los métodos de *síntesis* es el interés por parte de algunos matemáticos en la aplicación de sus conocimientos de cinemática teórica a los problemas que aparecen en el diseño de mecanismos. Un problema clásico de síntesis ha sido el de la generación de trayectorias rectilíneas o casi rectilíneas por puntos del mecanismo. Si tuviéramos que señalar de una manera particular alguna aportación relevante a este nuevo planteamiento de la teoría de mecanismos, nos quedaríamos probablemente con la obra de Ludwig Burmester (1840-1927)³⁷, y en concreto con su *Lehrbuch der Kinematik*, publicado en 1888.

³⁶ Alumno de la City London School y de la Royal School of Mines, profesor del University College de Londres de 1874 a 1889, traductor e introductor de la cinemática de Reuleaux en Inglaterra.

³⁷ Profesor de Geometría en Lodz y Dresde.

II.4.3. Los nuevos métodos pedagógicos

Frente a las expresiones analíticas de mayor o menor complejidad, para facilitar la enseñanza utilizando herramientas más intuitivas y de más fácil aprendizaje comienzan a extenderse los métodos gráficos en la resolución de los problemas cinemáticos y dinámicos. Ejemplo de ello son, respectivamente, los tratados de Robert H. Smith, *Graphics or the art of calculation by drawing lines*, de 1889, y Gustav Herrmann, *Zur graphischen Statik der Maschinengetriebe*, de 1879.

Otro aspecto es la introducción de los laboratorios educativos. Una característica singular de la educación ingenieril en Estados Unidos es la temprana integración de los laboratorios de experimentación en la enseñanza. Robert Henry Thurston (1839-1903) pone en marcha en 1874, en el Stevens Institute of Technology de Nueva Jersey, el que es considerado primer laboratorio de ingeniería mecánica en una institución educativa. Abarca las siguientes cuestiones: el ensayo de materiales, la resistencia y la elasticidad, la determinación de coeficientes de fricción, los ensayos de lubricación, los ensayos de herramientas, las transmisiones y los motores. En Alemania, Alois Riedler (1850-1936), profesor de la Technische Hochschule de Berlín, lleva a cabo en 1893, por encargo del Ministerio de Educación de Prusia, una visita a los laboratorios educativos de ingeniería de Estados Unidos. El resultado principal es una reforma de los estudios técnicos en Alemania en la que también se potencia la formación basada en los laboratorios.

II.4.4. Hacia la universalización

Si hasta la mitad del siglo XIX el desarrollo de la disciplina se produce fundamentalmente en Francia, en torno a profesores y alumnos de la École Polytechnique, conforme avanza la segunda mitad, y sobre todo en las últimas décadas de la centuria, empiezan a cobrar protagonismo otros países y otras lenguas, principalmente Gran Bretaña, Alemania y Estados Unidos. Esto es solo el paso inicial para que a lo largo de la primera mitad del XX sus aportaciones se extiendan a todos los continentes. En la actualidad 44 países forman parte de manera oficial de la International Federation for the Theory of Mechanisms and Machines (IFTOMM).

III

LA CIENCIA DE LAS MÁQUINAS EN ESPAÑA

Todo lo anterior deja patente la escasa participación española en el proceso de generación de la nueva rama del saber, en línea con la carencia relativa en la creación científica y con el retraso en la industrialización, que, por otro lado, comparte España con muchos países, incluso europeos, en este período.

Sin embargo, el país sí se mantiene informado de lo que en este sentido ocurre en las instituciones avanzadas y los nuevos desarrollos se aplican con un retraso mínimo respecto a sus primeras aplicaciones. Y, consecuentemente, la difusión de los cono-

cimientos, especialmente a través de las escuelas de ingeniería, se realiza también con un retraso mínimo.

III.1. *Los protagonistas*

Queremos hacer especial mención de algunas de las personas que tuvieron mayor incidencia en la difusión de los nuevos conocimientos en España y que contribuyeron a ella con la publicación de libros y apuntes de particular relevancia en las enseñanzas ingenieriles a lo largo del siglo XIX. El orden solo está relacionado con la fecha de publicación de sus principales trabajos. Además de explicar cómo quedan contenidos en sus obras los avances de la disciplina comentados anteriormente, hemos querido añadir, cuando ha sido posible, alguna apreciación del propio protagonista o de personas próximas que nos permita acercarnos no solo a sus conocimientos, sino también a ciertos detalles de su personalidad o de su visión.

Manuel María de Azofra (1813-1879)³⁸

En el año 1838, estando en Valencia, publica *Curso industrial o lecciones de aritmética, geometría y mecánica, aplicadas a las artes*. En el discurso de apertura del libro el autor se posiciona claramente acerca de la altura de sus contenidos matemáticos:

En el orden antiguo de estudiar se obligaba a recorrer todos los ramos de las Matemáticas puras y abstractas antes de comenzar ningún estudio de aplicación; y de aquí resultaba que, cansados los más con tantos estudios preliminares, eran pocos los que hacían verdaderos progresos en las ciencias. Se quería que todos fueran matemáticos profundos; como si todos estuvieran dotados de la fibra necesaria para ello; como si todos estuvieran destinados a ser sucesores de Euclides, de Arquímedes o de Newton; de aquí resultaba también, por una parte, que las clases numerosas, las que debían hacer mayores aplicaciones de estas ciencias, eran retraídas de su estudio, y por otra que como los pocos que se dedicaban a él no tenían ningún roce con las artes industriales ni hacían a ellas las aplicaciones de que son susceptibles, ni progresaban tampoco en los conocimientos científicos, que llegaban a mirar con tedio por no saber sacar de ellos las utilidades que se prometieron.

Volvemos a encontrarnos con razonamientos parecidos a los utilizados pocos años antes por Christian y Dupin en los comienzos de la mecánica industrial.

La parte correspondiente a la mecánica es un tratado elemental clásico de principios de siglo, con los tradicionales temas de análisis bajo condición estática de las máquinas simples y la visión de las fuerzas en la línea de d'Alembert y Carnot, aunque matices, por ejemplo, que «la verdadera fuerza, la medida exacta de ella, es el producto constante de dos factores variables, la masa puesta en movimiento y la velocidad comunicada»³⁹.

³⁸ Véase apunte biográfico, en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2007, p. 625.

³⁹ El autor parece querer utilizar el concepto de potencia, que es producto de la fuerza por la velocidad. Error conceptual típico al sustituir el término fuerza por el de masa.



11.2. Curso industrial de Manuel María de Azofra (1838): En la lámina puede observarse el planteamiento estático de diferentes configuraciones de polipastos, con diagramas vectoriales de descomposición de fuerzas, aproximación clásica al estudio de las máquinas simples en los tratados de mecánica de comienzos de siglo.

La mecánica incluye una parte estática con seis lecciones dedicadas a las máquinas de cuerdas, la palanca, el plano inclinado, las poleas, el torno⁴⁰, la rosca y la cuña. La dinámica contiene una única lección acerca del rozamiento y la rigidez de las cuerdas. En la última parte, sobre la hidrodinámica, el autor emplea una lección para hablar de motores hidráulicos, en la que introduce el concepto de trabajo tal como lo había definido Coriolis nueve años antes. Utiliza las denominaciones de Borgnis para las partes de las máquinas —*receptor*, *operador* y *partes intermedias*— e incluye el teorema de Carnot para aumentar el rendimiento del motor: «Se debe dirigir siempre que se pueda el esfuerzo del motor tangencialmente a la línea descrita por su punto de aplicación».

Asimismo, da unas reglas para el establecimiento eficaz de las máquinas:

- 1.º Disminuir los rozamientos.
- 2.º Hacer el movimiento uniforme.

⁴⁰ Máquina herramienta para el mecanizado de superficies de revolución.

- 3.º En el movimiento alternativo, hacer variar por grados la velocidad⁴¹.
- 4.º Hacer chocar los martillos y álabes por los centros de percusión.
- 5.º Dar el menor juego posible.
- 6.º Regularizar la acción de la potencia y de la resistencia por medio de volantes, moderadores, etc.

Azofra menciona los trabajos de Coulomb para medir la capacidad de trabajo del hombre por jornada. Incluye referencias muy actualizadas a los tratados de Borgnis, Poncelet, Navier, Taffe, Christian y Coriolis. En suma, el autor es perfecto conocedor de la teoría de máquinas que está desarrollándose en Francia, aunque a esta cuestión le dedica una única lección y de carácter descriptivo.

Su interés le permite estar al tanto de obras tan especiales como la de Neil Arnott *Elementos de física o de filosofía natural, general y médica*, traducida al castellano en 1837, que en alguna de sus partes constituye un verdadero tratado de biomecánica.

El médico instruido no puede prescindir de estudiar las máquinas, en especial las cuerdas y las palancas, el choque de los cuerpos, y sobre todo el equilibrio y movimiento de los fluidos para conocer la estructura del cuerpo humano cuyas dolencias debe aliviar.

Es interesante el comentario que hace en 1838 en torno a una previsible utilización de la energía eléctrica:

¿Y creemos que estos agentes [energía animada, eólica, hidráulica] sean los únicos que puede utilizar el hombre? Así se creía, y bien equivocadamente, antes de la invención de las máquinas de vapor; por lo que no debemos incurrir ya en semejante yerro. El fluido eléctrico aún no se ha utilizado del modo de que quizá sea susceptible cuando se conozca bien su fuerza y sus propiedades.

Un detalle de su discurso puede estar relacionado con el problema del absentismo de los estudiantes en las nacientes enseñanzas y sobre todo con el del abandono, con todas las consecuencias negativas para el proceso de difusión de los conocimientos que de ellos se derivan:

A pesar de todo, y aunque se tengan impresas estas lecciones, yo exhorto a una asistencia constante; en efecto, una lección escrita no puede decir tanto como una lección oral; en aquella es menester prescindir de una multitud de explicaciones y pormenores que harían la obra costosa al par que pesada, y de viva voz, y acomodado el profesor al estado de cada uno con quien habla, aumentan el convencimiento de todos; así se ve que es siempre más fácil comprender una lección de esta clase que otra escrita; y digo que la asistencia debe ser continua, porque estas ciencias son una cadena, y cada una de sus verdades los respectivos eslabones; roto uno, se acabó su enlace; y dejada una lección, es muy difícil, por no decir imposible, comprender las siguientes; de aquí resulta que, como no se comprenden, se oyen al principio con indiferencia, luego con fastidio,

⁴¹ Con esta expresión, el autor quiere señalar que el valor de las aceleraciones, de las que dependen las acciones inerciales, debe ser limitado.

y por último se abandona el estudio: estas ciencias son sencillas, y sus verdades claras y fáciles de comprender, pero es estudiándolas sucesivamente; cualesquiera salto que se dé, cualesquier hueco que se deje en ellas imposibilita comprender las demás. Por la misma razón es necesaria una atención y estudio continuados: el que no escucha mal se podrá aprovechar de lo que oye; y el que no estudia nunca sabrá nada: llévense ustedes siempre por norma que en las enseñanzas públicas no se puede aspirar a saber, sino a saber los medios de aprender, y sobre todo que solo sabrán ustedes lo que aprendan, y no lo que les enseñen, porque no todo lo que se enseña se aprende.

En 1851 se publica una real orden que dispone que los profesores del Real Instituto Industrial y de las demás escuelas industriales adopten las obras que juzguen más adecuadas de entre las que figuran una lista. Para la enseñanza elemental de Álgebra, Geometría y Mecánica aparece la obra de Azofra, profesor del mismo, lo que le asegura cierta difusión en la época. En lo que respecta a Mecánica, aparece entre las siguientes alternativas: la *Geometría y mecánica aplicadas a las artes* de Dupin, el *Curso de mecánica industrial* de Jariez y el tratado de Neil Arnott. Por el número de ejemplares que quedan en el patrimonio bibliográfico nacional, parece que el libro de Azofra fue el más difundido.

José de Odriozola y Oñativia (1786-1864)⁴²

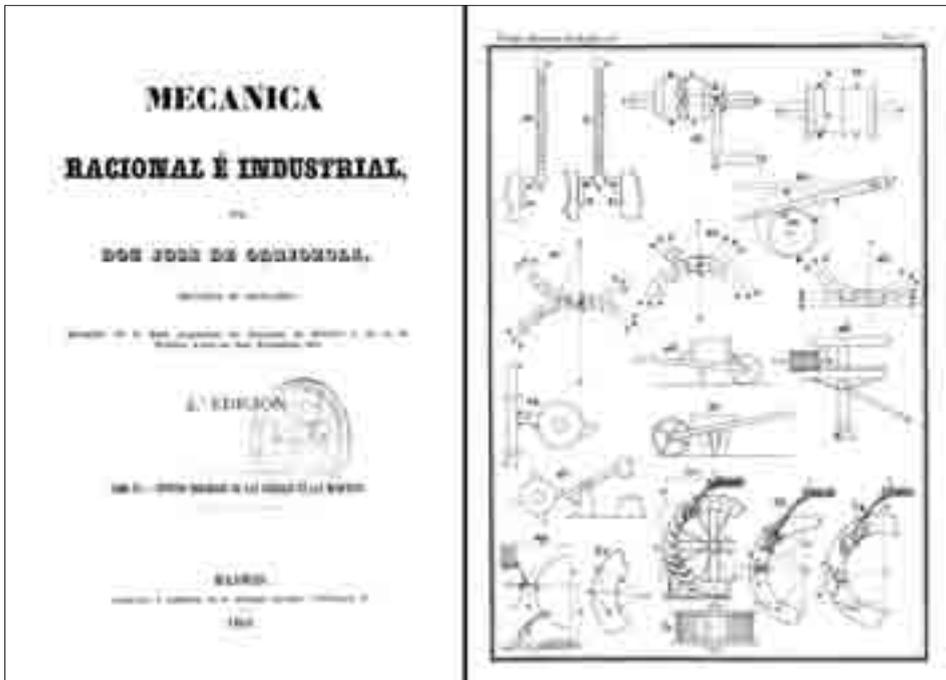
Además de diversas memorias sobre temas relacionados con armamento y balística, publica dos obras de gran difusión en la época: la primera, por la que es más conocido, es un *Curso completo de matemáticas puras* publicado en 1827. Llega a tener hasta cuatro ediciones, la última hacia 1850. La obra está dividida en cuatro tomos dedicados a aritmética y álgebra elemental, geometría elemental y trigonometría, álgebra sublime y geometría analítica, y cálculo diferencial e integral. Pero nuestro interés se centra en un tratado que se edita primero de forma separada para pasar más tarde a formar parte del cuarto tomo de un tratado de *Mecánica racional e industrial*.

En 1839 se publica la *Mecánica aplicada a las máquinas operando o Tratado teórico y experimental sobre el trabajo de las fuerzas*. En este, el autor hace referencia a *Du calcul de l'effet des machines*, libro de Coriolis de 1829, presentando un desarrollo similar. También menciona el trabajo de Lanz y Betancourt. Para separar las partes de la máquina sigue las denominaciones de Borgnis: *receptor*, *operador*. Realiza una clasificación de los mecanismos en función de los movimientos entrada-salida e ilustra la aplicación de dichos conceptos en una máquina de barrenar⁴³ cañones, en la que el motor es una máquina de vapor (movimiento rectilíneo alternativo) y la salida es el movimiento de la barrena (circular continuo).

El contenido está desarrollado en dos secciones: la primera incluye la definición del concepto de fuerza, tal como había sido planteado por Coriolis, y la aplicación del

⁴² Véase un apunte biográfico en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2007, p. 685.

⁴³ Para abrir agujeros cilíndricos en cuerpos sólidos.



11.3. «Efectos dinámicos de las fuerzas en las máquinas». Tomo IV de la Mecánica racional e industrial de José de Odrizola (1863): En las figuras inferiores puede observarse un análisis de la incidencia del agua en una turbina hidráulica como soporte gráfico para el estudio de la mejor disposición de los álabes con el fin de obtener el rendimiento máximo, planteamiento que corresponde a la teoría de máquinas.

principio de trabajos virtuales⁴⁴ y la conservación de las fuerzas vivas al análisis dinámico de las máquinas. La segunda, más descriptiva, recoge información sobre los diferentes tipos de motores animados —hidráulicos, eólicos y de vapor— y finaliza con una parte dedicada a los rozamientos. La novedad y el interés de la obra son obvios para el autor.

Esta obra, cuyo asunto, muy poco o nada tratado en España hasta ahora, es de notoria importancia para el porvenir dichoso de nuestra Patria, cuando el genio benéfico de la industria productiva nos guíe.

⁴⁴ El principio de los trabajos virtuales permite establecer las condiciones de equilibrio de un sistema mecánico. Por ejemplo, un mecanismo está en equilibrio bajo un conjunto de acciones (fuerzas y momentos) si la suma de los trabajos de dichas acciones al someter al mecanismo a un desplazamiento virtual (muy pequeño y compatible con las restricciones al movimiento impuestas por los pares cinemáticos) es nula.

Incluidos en el tratado de *Mecánica racional e industrial*, estos contenidos tienen una segunda edición en 1863. Este hecho y el número de ejemplares que se mantienen en el patrimonio bibliográfico nos hacen pensar que la obra cumplió la labor de difundir en España los avances producidos en Francia en torno a la teoría de máquinas, sobre todo teniendo en cuenta la poca difusión directa de la obra de Coriolis.

De hecho, también en la real orden de 1851 es incluida como obra recomendada para la Mecánica Aplicada de la enseñanza de ampliación. Aparecen como alternativas la *Introducción a la mecánica industrial* de Poncelet, las *Lecciones de mecánica dadas en el Conservatorio de París* de Morin, la *Aplicación de los principios de mecánica a las máquinas más en uso* de Taffe y otros libros especializados en máquinas de vapor y motores hidráulicos. También en este caso, el libro más difundido parece ser el de Odriozola.

Cipriano Segundo Montesino (1817-1901)⁴⁵

Pensionado en el año 1834, es enviado a la prácticamente recién creada École Centrale des Arts et Manufactures de París. En los años que allí estuvo debió de tener como profesor a Coriolis, que fue profesor de Mecánica Aplicada de 1832 a 1837. Además en 1832 se crea una cátedra dedicada a la Construcción e Implantación de Máquinas, encargada entre 1832 y 1838 al profesor Ferry, de formación metalúrgica. Posiblemente estos cursos le dieron a Montesino su formación teórica inicial, que complementó con una experiencia práctica a la que dio gran importancia.

Al hacerme cargo del curso de construcción de máquinas cuento con bastantes datos, si bien inconexos, reunidos en algunos años de práctica y sacados de los buenos talleres del extranjero en que he trabajado o que he visitado en el ejercicio de mi profesión. Cuento con una cosa esencialísima, el haber manejado por algunos años la lima y el martillo en aquellos talleres en la construcción de esas mismas máquinas y haber montado en nuestro país algunos talleres de construcción.

En el año 1851 fue encargado de la cátedra de Construcción de Máquinas en el Real Instituto Industrial y plasmó sus lecciones en unos apuntes litografiados de la asignatura en dos tomos y un atlas. Hizo una edición limitada de 14 ejemplares y se los regaló a sus alumnos, de modo que hoy se trata de una verdadera rareza bibliográfica que, por su importancia y contenidos, merecería haber sido impresa.

Hay cierto paralelismo entre su historia y la de Poncelet. Cuando este último es nombrado profesor de Mecánica Aplicada a las Máquinas en la École d'Artillerie et du Génie de Metz, después de llevar años trabajando en cuestiones de geometría, manifiesta su disgusto inicial, pero a continuación pone todo su genio en la nueva dirección y llega a convertirse en la persona más reconocida por su trabajo y sus aportaciones a la nueva teoría de máquinas. Tampoco parece que Montesino hubiese asumido la tarea de buen grado.

⁴⁵ Véase apunte biográfico en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2007, pp. 681-682.

Al reunimos de nuevo para reanudar nuestras interrumpidas tareas permítanme VV. manifestarles mi sentimiento profundo por la circunstancia de tener que hacerme cargo de una nueva asignatura repitiéndose lo sucedido el año pasado, lo cual, si bien es inherente al período de transición en que se halla el establecimiento y hasta cierto punto inevitable, no deja de ser sensible para VV., no pudiendo menos de resentirse profundamente la enseñanza de estos cambios, pues por muy sabio que se quiera suponer a un profesor no le es dado conocer tan a fondo, dominar y poder enseñar con igual facilidad tres o cuatro ramos distintos del saber humano.

Quiere dejar claro a sus alumnos que sus condiciones personales y las de la propia materia no son las más adecuadas para llegar a buen puerto.

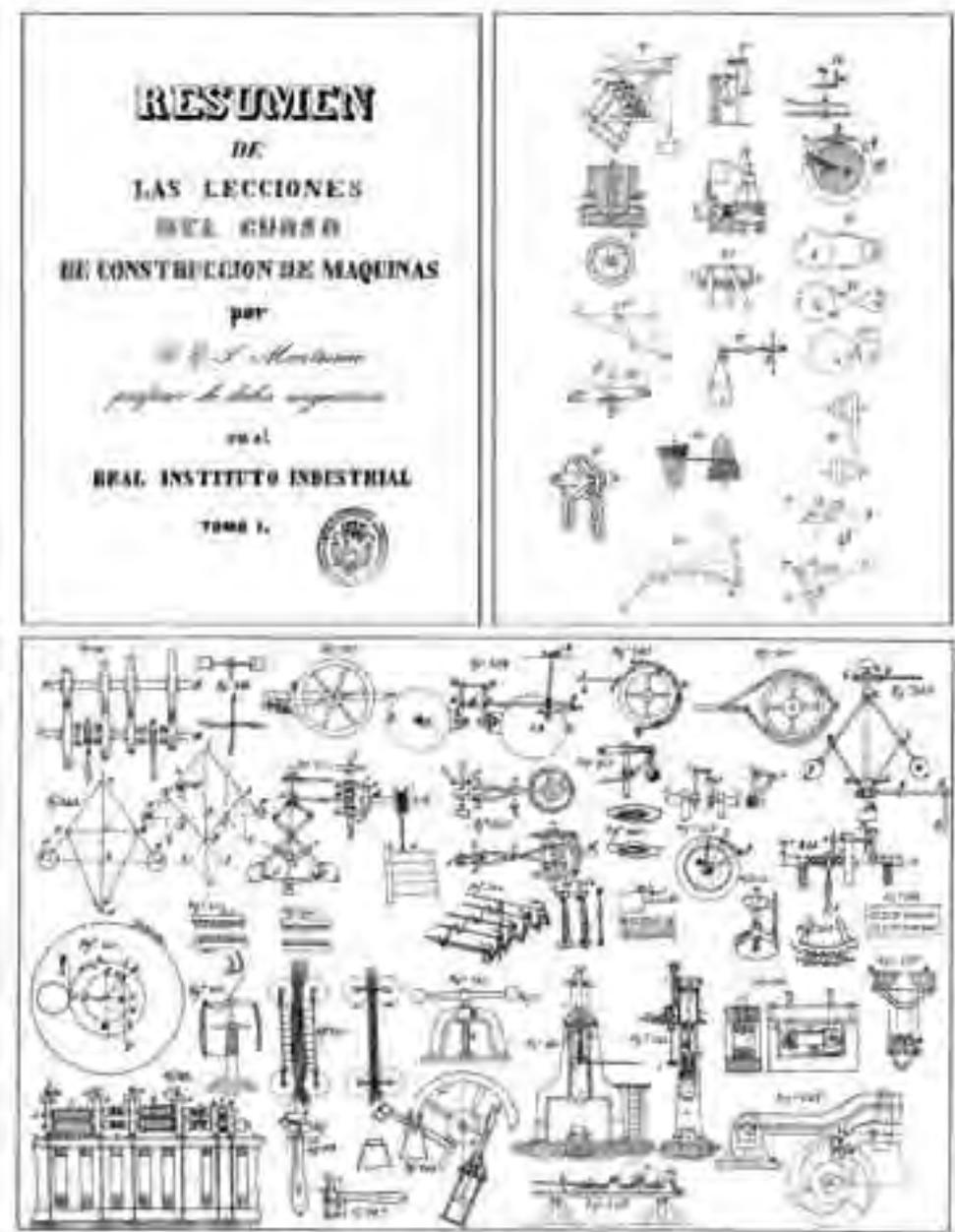
Auméntanse estas desventajas si, como ahora sucede, el profesor es de conocimientos limitados, la materia nueva en la enseñanza, no bien deslindada en su extensión y las obras de consulta pocas, o mejor dicho, ninguna metodizada, de modo que los elementos del curso han de reunirse de multiplicados orígenes y no poco ha de suplirlo la experiencia del profesor, que pretende enseñar.

Más allá del empeño puesto por Montesino y la validez de lo conseguido, trataremos de analizar la realidad que hay tras sus palabras. En la introducción que hace al *Resumen de las lecciones del Curso de Construcción de Máquinas*, enmarca sus contenidos fundamentales, separándolos de lo que denomina *mecánica dinámica* (teoría de máquinas).

El objeto de la dinámica es doble como ustedes conocen y, como toda ciencia que se ocupa de las magnitudes, puede mirarse bajo dos aspectos, el del número y el de la forma. El primero se ocupa del mejor empleo posible de la fuerza motriz, del máximo de efecto útil y de la valoración de las resistencias, constituye lo que se llama mecánica dinámica y forma parte de otro curso. El segundo trata de la dirección del movimiento, de las formas y combinaciones de los órganos destinados a producir un movimiento dado y puede llamarse mecánica geométrica, parte esencialísima del curso de construcción de máquinas.

Lo primero que sorprende es que, para no tratar en la asignatura de la mecánica dinámica, la mayor parte de la introducción la dedica a realizar una síntesis magistral del objeto y los problemas que plantea la teoría de máquinas. En el discurso de Montesino podemos rastrear a Laboulaye, Willis, Navier, Poncelet y Carnot. A pesar de ello, y en la línea de los tratados de dinámica de máquinas más antiguos, incorpora una simplificación no del todo justificada: suponer que las transmisiones suelen tener movimientos de rotación uniforme y que, en consecuencia, pueden despreciarse sus inercias en el análisis dinámico. La parte final la dedica a relacionar las cuestiones que se tratarán a lo largo del curso, e incluye una de las pocas referencias que contiene la obra, un comentario elogioso sobre el libro de Lanz y Betancourt en el que reconoce que abre la marcha en el tema de la composición de máquinas, aunque manifiesta que se trata de algo «que no se encuentra a la altura de la época».

El curso está contenido en dos tomos con diez secciones dedicadas a las siguientes cuestiones:



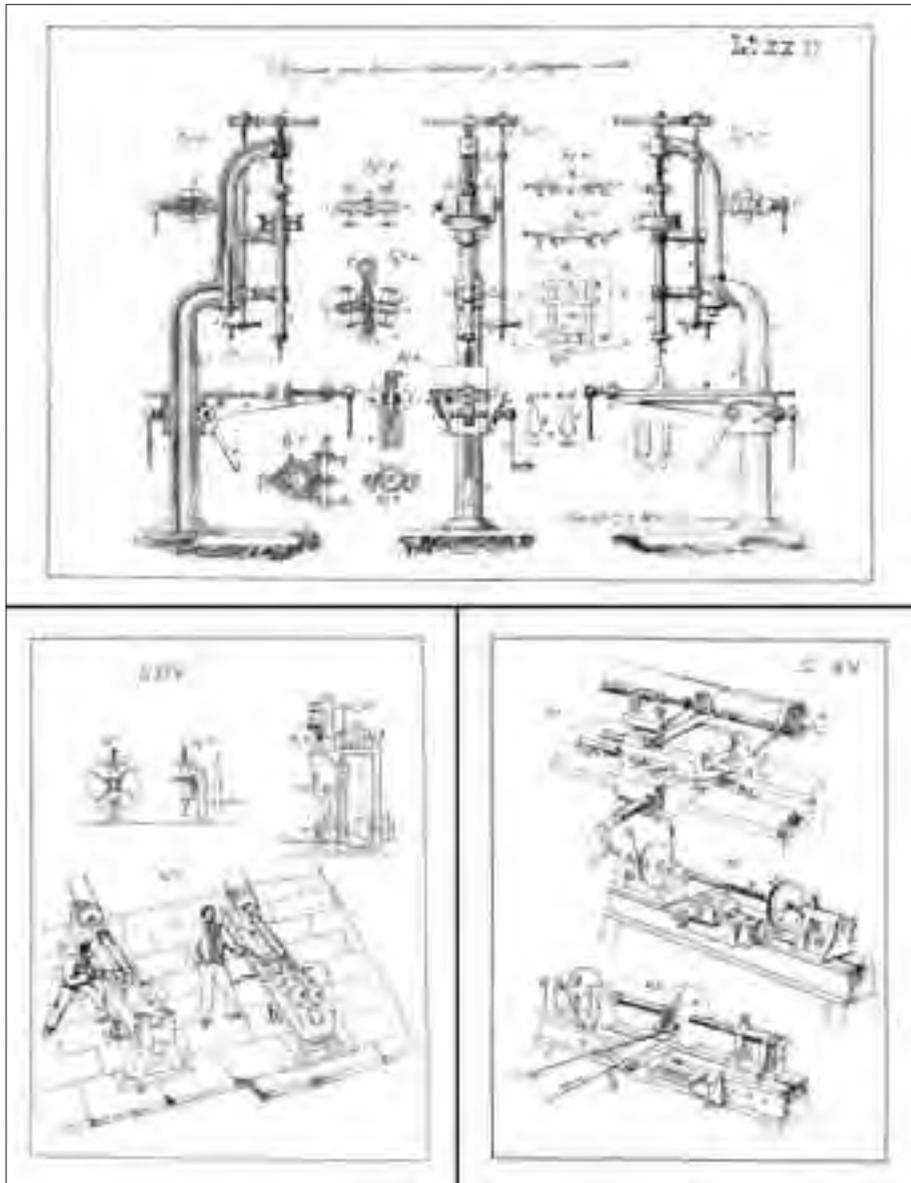
11.4. Resumen de las lecciones del curso de construcción de máquinas de Cipriano Segundo Montesino (1853): Portada del tomo primero y láminas de los apuntes litografiados de la materia, impartida en el Real Instituto Industrial. Pueden observarse mecanismos y máquinas de muy diversos tipos, entre otros: frenos, reguladores, transmisiones de engranajes, transmisiones de correas y cadenas, ruedas de fricción, prensas, grúas, etc. La figura 49 (centro abajo de la lámina en la parte superior) representa el trazado de un perfil de evolvente, empleado en el diseño y construcción de los engranajes (su uso se consolida en la época por sus cualidades mecánicas: relación de transmisión constante, independiente de la distancia entre ejes y dirección invariable de la fuerza transmitida).

- 1.^a Estudio de la naturaleza y las propiedades de los materiales que entran en la construcción de máquinas.
- 2.^a Receptores. Formas de sus órganos y naturaleza del movimiento producido según el modo de acción de la fuerza motriz.
- 3.^a Órganos de comunicación, de transformación del movimiento de una parte de la máquina a otra parte de la misma.
- 4.^a Órganos de las máquinas que sirven para modificar el movimiento y para disponer los elementos en un orden determinado.
- 5.^a Operadores. Órganos que sirven para vencer las resistencias y varían según la naturaleza de las resistencias y el producto que se quiere obtener.
- 6.^a Medios de ensamblar.
- 7.^a Disposiciones, formas y empleo de las diversas piezas de las máquinas.
- 8.^a Establecimiento y construcción de máquinas, tales como las del vapor, ruedas hidráulicas, malacates, grúas, etcétera.
- 9.^a Montage [sic] de las máquinas en general.
- 10.^a Organización de los talleres de construcción.

Indudablemente se trata en su conjunto de una composición bastante original. Hay secciones de teoría de mecanismos (la 3.^a y la 4.^a) y de construcción de órganos de máquinas (la 6.^a), y, junto a ellas, un muy amplio tratamiento de los órganos operadores, en lo que prácticamente constituye un pequeño tratado de tecnología de fabricación. La experiencia de taller, citada por el autor, se ve reflejada en la cantidad de datos y tablas, y sobre todo en dos aspectos poco tratados en los libros: el montaje de máquinas en la sección 9.^a y la organización de los talleres en la 10.^a

Los apuntes son parcos en referencias explícitas a otros autores. El amplio tratado sobre engranajes contiene dos a Willis y a Olivier, del que además Montesino manifiesta haber sido discípulo. En el tema de reguladores se menciona a Poncelet. Morin, director del Conservatoire Impérial des Arts et Métiers desde 1843, aparece en la parte dedicada a las uniones y en las cuestiones de resistencia de materiales. En la sección de uniones también figura el famoso constructor de molinos escocés William Fairbairn. En la de resistencia de materiales, después de señalar la introducción dada sobre dicha materia en la asignatura de Mecánica Industrial por el profesor Azofra, el autor alude a Navier. Por último, en la parte dedicada a la transmisión por correas habla de Armengaud. Como puede observarse, aunque predominan las fuentes francesas, Montesino es también buen conocedor de los trabajos publicados en Gran Bretaña, donde estuvo pensionado para ampliar estudios sobre diseño de máquinas.

Los apuntes ofrecen un tratamiento de la materia fundamentalmente descriptivo, acompañado de muchos datos, y nivel matemático elemental. En resumen, es una obra muy práctica y muy actualizada. Su estructura corresponde a la de un manual de ingeniería mecánica. Dado que se trata de los apuntes de un curso, y debido a la cantidad de materia expuesta, surge inmediatamente la cuestión de en qué medida los alumnos tenían capacidad para absorber en un curso tal cantidad de información.

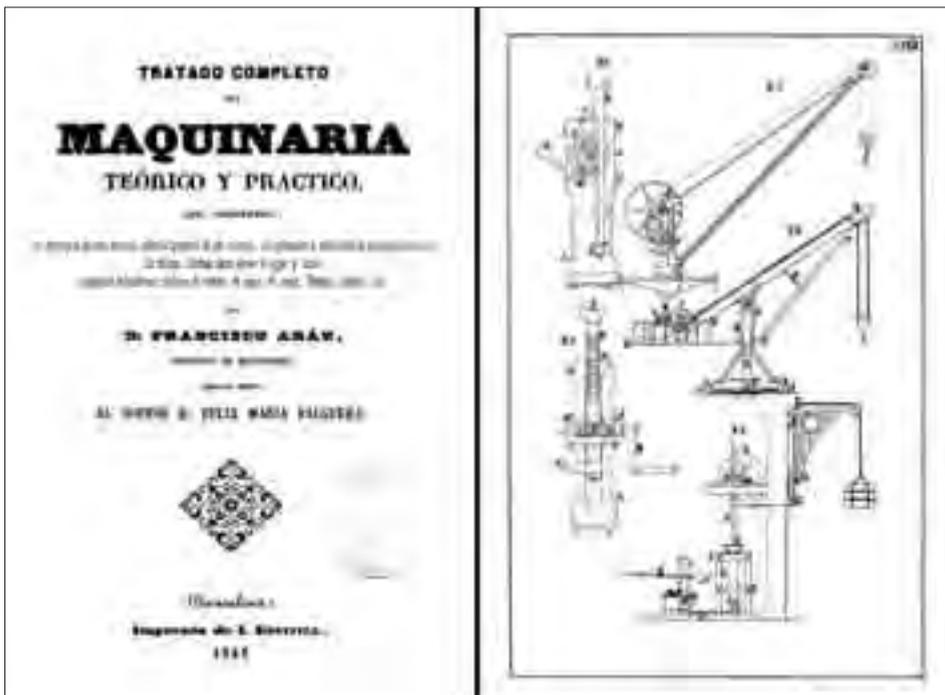


11.5. Resumen de las lecciones del curso de construcción de máquinas de Cipriano Segundo Montesino (1853): 1) Mientras que la mayor parte de los tratados no especializados utilizan fundamentalmente ejemplos de aplicaciones de la máquina de vapor y de máquinas de elevación, el interés constructor de Montesino le lleva a incorporar de forma original diversos ejemplos de máquina herramienta como la de la lámina xxii, que corresponde a un taladro; 2) La lámina xiv presenta una interesante comparación entre un torno semi-manual en el que la herramienta es manejada directamente por el operario y un torno totalmente mecánico que incluye un mecanismo regulador de la profundidad de corte; 3) La lámina xv contiene ejemplos de aplicación del torno a la fabricación de elementos muy comunes: un sinfín (fig. 2) y un engranaje (fig. 3).

Francisco Arau y Sanpons (1797-1867)

Pocas noticias tenemos de su biografía. Sin embargo, estuvo constantemente relacionado con el mundo de las máquinas. Desde el año 1828 fue maquinista de la Casa de la Caridad de Barcelona. Catedrático de Mecánica Industrial y socio fundador del Instituto Industrial de Cataluña en 1848, fue nombrado ayudante de maquinaria en la Escuela Industrial de Barcelona en 1851. Para acercarnos a su perfil humano contamos con una carta dirigida por Josep Roura, director de la Escuela, al ministro de Fomento el 1 de agosto de 1856, en la que abunda en las virtudes y limitaciones de Arau:

La Escuela elemental ha sido regentada por los Ayudantes de esta Escuela en el modo y forma que V. E. se dignó aprobar y estos buenos servidores del Estado han cumplido con sus deberes de una manera tan completa como sus fuerzas respectivas han consentido. Solamente tengo que hacer a V. E. una excepción que me es muy dolorosa porque recae en un sujeto laborioso inteligente y que se halla además en el último tercio de su vida: D. Francisco Arau, que ha dirigido algunos talleres de esta Ciudad y que sería muy apto para la dirección del que debe haber en esta Escuela, es el Ayudante a que me refiero; de alguna edad, ya no puede conservar como profesor de Matemáticas



11.6. Tratado completo de maquinaria de Francisco Arau (1848): Como tratado práctico de maquinaria, en la lámina el autor se fija en los detalles constructivos y en especial en la transmisión, que, por reducción mediante engranajes de corona sinfín o mediante cremallera, permite alzar pesos elevados.

aquel vigor, aquel carácter propio de una cátedra sin aquella frescura y lozanía en las ideas propia de una enseñanza elemental; pero este Ayudante puede ser útil para el Establecimiento; así que he dispuesto, esperando que merecerá la aprobación de V. E., que se encargue de arreglar un pequeño taller de construcción de maquinaria para el curso próximo, valiéndose de los pocos útiles que hay en la Escuela, y al disponerlo así he creído hacer un servicio a la misma porque le creo el más digno del Establecimiento para trabajos de esta naturaleza.

Traduce y anota en 1858 el *Curso completo de mecánica industrial* de Morin y es autor de un libro publicado en 1848, el *Tratado completo de maquinaria teórico y práctico*. La coincidencia de su publicación con su nombramiento para ejercer la cátedra de Maquinaria en el Instituto Industrial de Cataluña nos puede dar una idea de los contenidos de dicho curso. Los primeros capítulos están dedicados al estudio de las máquinas simples en estado de equilibrio. Llama la atención que prácticamente no aborda el problema dinámico. Al tratar los engranajes en el capítulo 6.º no estudia los perfiles de evolvente. En el 7.º da unas nociones de resistencia de materiales, mientras que en el 8.º, el más amplio de la obra, aplica estos conocimientos básicos a la descripción de diferentes máquinas. El Instituto Industrial de Cataluña tenía como objetivo la modernización tecnológica de la industria catalana y, en ese marco, la formación de profesionales de nivel medio que pudieran llevar a cabo tal tarea. El nivel del libro se ajusta a este perfil de alumno y en ese sentido sigue la línea de los tratados de mecánica industrial.

Nicolás Valdés y Fernández († 1872)⁴⁶

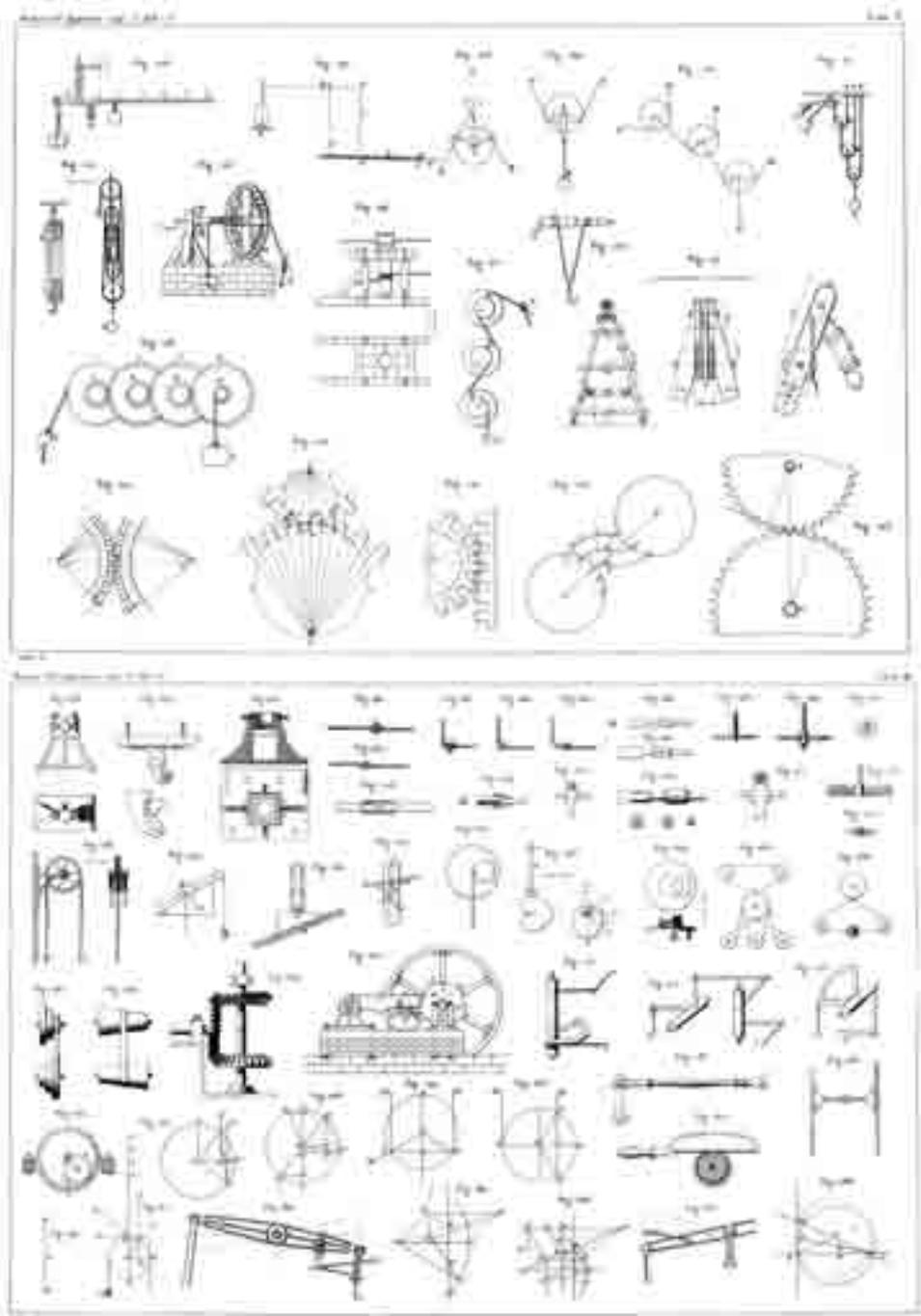
Un fenómeno curioso en el campo de las publicaciones es el de los manuales de ingeniería, los *aide-mémoire*, que proceden fundamentalmente del campo de la ingeniería militar. A juzgar por el número de ejemplares conservados y por su aparición en la relación de libros recomendados a las escuelas industriales en 1861 y 1864 para la enseñanza de las materias de Estereotomía⁴⁷, Mecánica Industrial, Construcciones Industriales, Máquinas de Vapor y Construcción de Máquinas, el *Manual del ingeniero* del coronel de ingenieros Valdés fue una obra de gran difusión y empleo. Tal como indica el autor, la profesión militar exige

un verdadero manual en que se consulten con facilidad tales o cuales principios que unos puedan haber olvidado en todo o en parte por la falta de ejercicio, y otros quieran justificar para llegar prontamente y con seguridad al fin que se proponen, sin la pérdida del tiempo generalmente empleado en registrar obras dispersas y voluminosas, que, además, no siempre es posible llevar consigo si el destino del Ingeniero exige movilidad.

Los sucesivos capítulos del libro van recorriendo los diversos campos de aplicación de la ingeniería: principios y diversos extractos generales de las matemáticas;

⁴⁶ Un apunte biográfico, en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2007, pp. 710-711.

⁴⁷ Arte de cortar piezas para su encaje constructivo, normalmente aplicada a la edificación en piedra y madera.



11.7. Manual del ingeniero de Nicolás Valdés (1859): Libro clásico y muy referenciado, es compendio de datos prácticos de aplicación a la ingeniería y a la arquitectura. 1) En la parte inferior de la lámina superior (lám. 9) destacan diversos dibujos relativos a cuestiones geométricas de los engranajes; 2) El interés del autor por los novedosos temas de la teoría de mecanismos, en concreto por la síntesis de mecanismos en los que algún punto trace trayectorias casi rectilíneas (mecanismos aplicados en las máquinas de vapor), se ve reflejado en las figuras de la parte inferior de la lám. 11 que corresponden al estudio de los mecanismos de Watt y de Evans.

principios de mecánica, donde se incluye una pequeña introducción dinámica, el estudio de las máquinas simples, el rozamiento y la composición general de las máquinas; movimiento y conducción de aguas; máquinas hidráulicas y eólicas; máquinas de vapor; construcciones; caminos ordinarios y de hierro; canales de navegación y riego; fuentes ascendentes o pozos artesianos; gnómica.

De las 1.300 páginas que posee el manual, no más de 50 están dedicadas a los principios de la mecánica aplicada a las máquinas, y unas 150 a las máquinas hidráulicas y de vapor. Corto bagaje para una enseñanza que comenzaba a poseer una amplia acumulación de conocimientos, aunque claramente la vocación del tratado era la de ser manual y no otra cosa.

Ricardo de Aranaz e Izaguirre (1852-1932)

La *Revista de Matemáticas Elementales* editada en Buenos Aires publica una serie de reseñas bibliográficas entre las que aparece una firmada por Otto Krauge sobre el libro *Los mecanismos* (1889) de Aranaz que dice:

Tratándose de una obra de mecánica aplicada escrita en español, este libro reviste doble importancia, y, siendo su autor español, prueba que en España no se descuidan, como algunos creen las ciencias de aplicación para el ingeniero. El hecho de ser algo raras las obras científicas que nos llegan de la madre patria nos ha impulsado a leer este libro con mucho interés. Estando escrita esta obra en nuestro idioma, facilita la lectura del asunto, a la par que nos hace conocer una serie de palabras nuevas en el tecnicismo castellano.

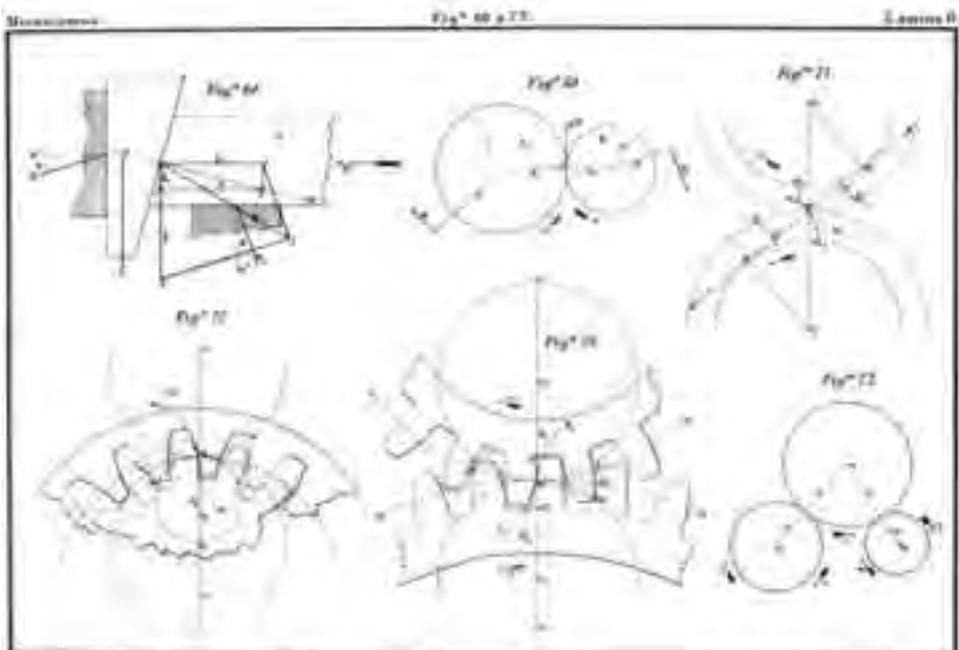
Comentario que refleja la poca productividad de nuestro país en obras científicas, de la que la obra de Aranaz es feliz excepción.

El autor llega a ser general de división procedente del cuerpo de artillería y presidente de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales entre los años 1921 y 1922. Posee un buen número de publicaciones en torno a temas de artillería y explosivos, entre los que destacan dos libros de bastante éxito, ambos impresos por primera vez en 1889 y que alcanzan su quinta edición en los años 1923 y 1924. El primero es una obra sobre perspectiva, y el segundo, que es el que a nosotros nos interesa, se titula *Los mecanismos: estudios analíticos y gráficos*.

Muchas cosas son remarcables en esta obra: hay una teoría perfectamente estructurada que abarca la cinemática y la dinámica de mecanismos. Al clásico problema de análisis añade, por primera vez de forma explícita, el de síntesis. Tomando como referencia el mencionado tratado de Herrmann sobre estática gráfica, y agregando las fuerzas pasivas en el problema de equilibrio, introduce los métodos gráficos en la enseñanza de los mecanismos y los utiliza para la resolución de los casos de equilibrio dinámico.

Como puede observarse, la estructura del libro refleja un planteamiento moderno de la materia:

- Estudio primero. Teoría cinemática de los mecanismos.
- Estudio segundo. Teoría dinámica de los mecanismos.



11.8. Los mecanismos de Ricardo de Aranz e Izaguirre (1889): 1) Portada y representación del dispositivo dinamométrico utilizado para medir la relación entre el esfuerzo de tiro y la carga en carruajes empleados en artillería, prueba del interés por las cuestiones experimentales; 2) El libro aplica la estática gráfica a la determinación de las fuerzas que aparecen en los contactos entre las diversas partes de la máquina. En la primera figura puede observarse que analiza el caso de una cuña.

- Estudio tercero. Aplicación a los órganos generales de los mecanismos.
- Estudio cuarto. Aplicación a los mecanismos de contacto.
- Estudio quinto. Aplicación a los mecanismos de biela.
- Estudio sexto. Aplicación a los mecanismos de órganos flexibles.
- Estudio séptimo. Mecanismos para establecer, interrumpir y modificar los movimientos: embragues⁴⁸, moderadores, volantes, reguladores, modificadores.
- Estudio octavo. Indicadores mecánicos: cinemáticos y dinámicos.
- Estudio noveno. Combinaciones de los diversos grupos y especies: máquinas para elevar pesos, torno de engranajes, diferencial⁴⁹, cabria⁵⁰, grúas.

El libro va acompañado de un compendio de láminas con 230 figuras, muchas de las cuales son de aplicación de los métodos gráficos ya comentados. La única objeción a este interesante tratado es que no haya incorporado los conceptos básicos de la teoría de mecanismos ya desarrollados en el momento de su publicación por Reuleaux.

**Miguel Martínez de Campos y Antón (1839-1906)⁵¹
y Vicente Garcini Pastor (1848-1919)⁵²**

En el año 1885, Martínez de Campos, hasta entonces profesor de Cálculo e Hidráulica en la Escuela de Caminos, es encargado de la asignatura de Máquinas. Diez años antes había publicado Reuleaux su tratado de cinemática. Martínez de Campos será quien introduzca algunos de sus conceptos básicos en la enseñanza de Máquinas en España: en particular, el de par geométrico (cinemático) y el de cadena cinemática.

En su aproximación, desarrolla una visión en la que combina los obstáculos puestos al movimiento relativo en los pares cinemáticos con cuestiones de *teoría de curvatura*, sobre las trayectorias de los puntos de un sólido rígido en movimiento, lo que da lugar a un desarrollo de un alto nivel teórico que, ciertamente, tiene algo de novedoso. No obstante, desde el punto de vista pedagógico-práctico, el método tenía sus problemas, más allá del esfuerzo del profesor por hacer partícipes a sus alumnos de los nuevos planteamientos y más allá de la devoción de los alumnos hacia la figura del emérito profesor. Un testimonio de ello podemos encontrarlo en las *Memorias de la Escuela de Caminos* de Machimbarrena⁵³, en las que afirma lo siguiente de la enseñanza y las clases de don Miguel:

⁴⁸ Mecanismos que posibilitan el voluntario acoplamiento-desacoplamiento de los giros de dos piezas alineadas.

⁴⁹ Mecanismo que permite transmitir una única tracción a dos ejes con velocidades diferentes.

⁵⁰ Trípode armado para manejar grandes pesos.

⁵¹ Un apunte biográfico, en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2007, p. 676.

⁵² Véase apunte biográfico en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2007, p. 656.

⁵³ V. MACHIMBARRENA, 1940.

Los alumnos oíamos asombrados sus profundas explicaciones. Hablaba, con velocidad vertiginosa, la hora y media que entonces duraban las clases orales, sin perdonar un minuto, y a duras penas logramos redactar unos apuntes muy imperfectos. Con frecuencia, le rogábamos que volviese a explicar la lección, que habíamos entendido solo a medias, y era tal su dominio de la materia que jamás repetía del mismo modo lo que nos había dicho.

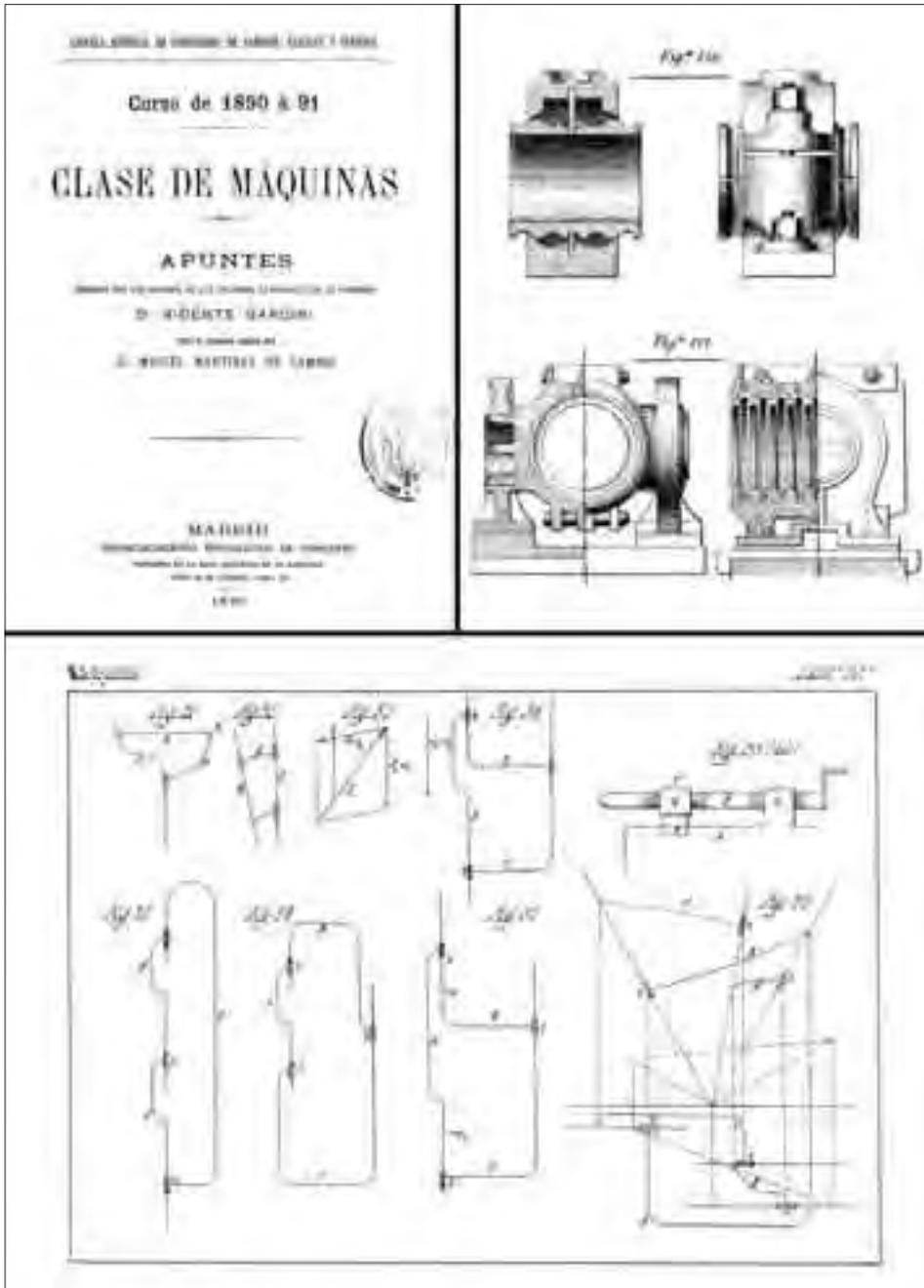
Vicente Garcini fue el encargado de recoger el testigo. En 1890 publicó unos apuntes que contenían la original aproximación de Martínez de Campos a la teoría de mecanismos.

III.2. *La formación*

Desde su comienzo, los planes de estudio dirigidos a la formación de los ingenieros de caminos e industriales recogen materias relacionadas con las máquinas. Independientemente de las vicisitudes en su formación a lo largo del siglo XIX, con o sin escuelas preparatorias, su formación global en el ámbito de la mecánica y de las máquinas se suele realizar en dos fases. Ligada a una materia de Mecánica que en la Escuela de Caminos se suele denominar *Mecánica Aplicada* y en los diversos estudios de Industriales se denomina *Mecánica Industrial*, en la primera se estudian: las máquinas simples —con un planteamiento estático—, el rozamiento y la dinámica de las máquinas en movimiento, analizando sus efectos, aplicando la ecuación del trabajo y energía. La segunda materia se denomina *Máquinas* en los estudios de Caminos, y *Construcción de Máquinas* en Industriales. En esta materia los contenidos son más diversos y claramente evolucionan. Si comparamos el programa de la asignatura de Máquinas de Caminos de 1853 con el que imparte Montesino en el Real Instituto Industrial el mismo año, se puede observar que los contenidos en el último son más amplios y recogen cuestiones no explícitamente tratadas en el primero: el estudio de la naturaleza y las propiedades de los materiales; los medios de ensamblar, las disposiciones, las formas y el empleo de las diversas piezas de las máquinas; su montaje; la organización de los talleres de construcción. Es cierto que la mayoría de estos aspectos no forman parte directamente de la ingeniería de máquinas, pero evidencian una preocupación no solo por el estudio de estas y su diseño, sino también por las cuestiones relacionadas con su fabricación, como corresponde a una visión industrial.

Confrontando los temarios de la asignatura de Máquinas en la escuela de Caminos en los años 1868 y 1886 nos encontramos con novedades importantes en la estructuración de la materia, reflejo inmediato de los cambios introducidos por los planteamientos cinemáticos de Reuleaux. Por primera vez se va a introducir dentro de la enseñanza una teoría de mecanismos propiamente dicha que queda reflejada en la parte primera de la asignatura, cuyos descriptores transcribimos a continuación:

- figuras deformables compuestas de elementos indeformables;
- movimiento de una figura indeformable, considerado independientemente del tiempo;



11.9. Apuntes de clase de Máquinas de Vicente Garcini (1890): 1) Portada y detalles de dos tipos de cojinetes, el superior de acoplamiento esférico y el inferior de un eje de rotación, cuestiones relativas a la construcción de máquinas; 2) Representación de diversos esquemas cinemáticos de mecanismos, utilizando los elementos barra y par cinemático creados por Reuleaux.

- pares geométricos;
- cadenas geométricas.

Las figuras deformables hacen referencia a los mecanismos, y los elementos indeformables, a los sólidos rígidos; por lo tanto, se está hablando de una teoría de mecanismos compuestos de sólidos rígidos. A continuación, con el movimiento de una figura indeformable independientemente del tiempo, se desarrolla la denominada *teoría de curvatura*, aplicándose, a partir del concepto de *perfil conjugado*⁵⁴, al trazado del perfil de dientes en engranajes.

Las dos partes siguientes responden a una incorporación de los conceptos básicos de la teoría de mecanismos desarrollada por Reuleaux y publicada en 1875 en su tratado de cinemática. El concepto de par geométrico como vínculo entre dos sólidos que, por su forma, determina el tipo de movimiento relativo entre ambos⁵⁵. Los clasifica en obstáculos bilaterales y unilaterales, lo que podríamos traducir como pares cinemáticos con cierre de forma o de fuerza⁵⁶. El concepto de cadena geométrica o mecanismo no es más que la combinación de sólidos y pares geométricos para conformar un conjunto que posee capacidad de movimiento relativo entre las partes. En el temario se describen múltiples casos de cadenas simples y compuestas, con especial atención en la resolución del problema cinemático del cálculo de la relación de transmisión.

Todas estas cuestiones no se abordaban en el temario de 1868, y, sin embargo, forman la primera parte del de 1886. Es más, siguen estando presentes y amplían su importancia en el de 1906. De aquí derivan dos cuestiones importantes. La primera, el mayor peso que va cobrando la teoría de mecanismos respecto a la teoría de máquinas y de su construcción en la última cuarta parte del siglo XIX, peso que irá creciendo incluso a lo largo de la primera mitad del XX; la segunda, el corto período de tiempo que transcurre entre la generación de conceptos (Reuleaux, 1875) y su difusión en los programas de las asignaturas (1886): en una década, los alumnos de las asignaturas de Máquinas han podido acceder a los nuevos conocimientos generados.

⁵⁴ Forma que posee el perfil de los dientes de un engranaje para que la relación de transmisión, o relación de velocidades, sea constante, independientemente de la posición relativa de ambas ruedas. Esta es una propiedad esencial en la construcción de la mayor parte de las ruedas de engranaje.

⁵⁵ Por ejemplo, la geometría de una bisagra, un eje cilíndrico metido en un agujero de la misma forma, determina el movimiento de la puerta respecto al marco, un movimiento de rotación plano.

⁵⁶ El ejemplo de la bisagra corresponde a un *cierre de forma*, ya que el movimiento relativo entre marco y puerta viene determinado exclusivamente por la forma de las partes de la bisagra; sin embargo, la rodadura de una rueda de bicicleta respecto al suelo no está determinada únicamente por la forma de la rueda, sino que es necesaria una fuerza que mantenga unida la rueda con el suelo, que en la mayor parte de los casos será el peso de la bicicleta y del ciclista.

III.3. Las referencias bibliográficas

Un apartado importante para conocer la difusión de la disciplina en España es la bibliografía recomendada, así como los fondos bibliográficos existentes⁵⁷. En diversos documentos han quedado referencias de la literatura recomendada, por ejemplo para las escuelas industriales, incluido el Real Instituto Industrial:

- En 1851, para la enseñanza elemental de Mecánica, el *Curso industrial* de Azofra, la *Geometría y mecánica aplicada a las artes* de Dupin, el *Curso elemental de mecánica* de Jariez y los *Elementos de mecánica* de Kater.
- También en 1851, para la enseñanza de ampliación de Mecánica Aplicada, la *Introducción a la mecánica industrial* de Poncelet, las *Lecciones de mecánica dadas en el Conservatorio de París* de Morin, las *Aplicaciones de los principios de la mecánica a las máquinas* de Taffe, la *Mecánica aplicada a las máquinas operando* de Odriozola.
- En 1861 y 1864, para la enseñanza de Ingeniería Industrial Superior, en Mecánica Industrial, el *Manual del ingeniero* de Valdés, la *Introducción a la mecánica industrial* de Poncelet, las *Aplicaciones de los principios de la mecánica a las máquinas* de Taffe; para la Construcción de Máquinas, el *Manual del ingeniero* de Valdés.
- En 1886, en la asignatura de Máquinas de la Escuela de Caminos, el *Tratado de mecanismos* de Haton como obra de referencia; de consulta, la *Mecánica y máquinas* de Bresse, la *Mecánica y máquinas* de Debauve, la *Estática gráfica de los mecanismos* de Herrmann, la *Cinemática* de Laboulaye, la *Mecánica aplicada a las máquinas* de Poncelet, el tratado de cinemática y el *Constructor* de Reuleaux.

Si atendemos a los fondos del patrimonio bibliográfico nacional que se conservan, los libros de mayor éxito son el *Cours de mécanique et machines professé à l'École Polytechnique* de Bour, el *Manual del ingeniero* de Valdés, el *Cours de machines* de Callon, el *Cours de mécanique appliquée aux machines* de Boulvin y *Los mecanismos: estudios analíticos y gráficos* de Aranaz, casi todos ellos de la segunda mitad del siglo XIX. Entre los anteriores destacan el *Curso industrial* de Azofra y la *Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes* de Dupin. Como puede observarse, no se encuentran entre los más disponibles autores de la talla de Coriolis, Poncelet o Morin, y destaca además, sobre todo en la segunda mitad del XIX, la escasez de tratados en inglés y alemán. Parece haber una dificultad de manejo de estas lenguas, ya que los pocos tratados que existen son traducciones al francés, lo que evidencia cierta barrera idiomática para la difusión de los conocimientos.

⁵⁷ M. FORONDA Y GÓMEZ, 1948; *Catálogos de la Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, 1859, 1864, 1875, 1883 y 1896.

IV

CONCLUSIONES

El recorrido efectuado ha permitido, a modo de bosquejo, trazar las líneas de avance que confluyen en los años setenta del XIX en la configuración de la ciencia de las máquinas. Esta es disciplina que continúa evolucionando en lo que resta de siglo, para dar nacimiento a nuevos campos de conocimiento y de aplicación específicos, y universalizarse desde el punto de vista geográfico.

El tratado de Lanz y Betancourt constituye la única aportación española relevante a la nueva rama del saber más allá de nuestras fronteras en el XIX. De amplia difusión en el extranjero, mantiene su vigencia con sucesivas reediciones a lo largo de la primera mitad de la centuria. Adicionalmente, es destacable el esfuerzo de un conjunto de profesores hispanos, alguno, como Cipriano Segundo Montesino, formado en los centros donde se estaba desarrollando el nuevo conocimiento. Con un saber claramente actualizado, contribuyeron a la divulgación en España de lo que se estaba haciendo en otros países, esencialmente en Francia. Los planes de estudio, los programas y los apuntes recogen una preocupación por difundir la disciplina a un nivel similar al de las instituciones de enseñanza técnica de los países de nuestro entorno. No obstante, la preocupación por incorporar la formación de carácter práctico que, a finales de la centuria empieza a evidenciarse en países como Estados Unidos y Alemania, no llega de manera clara a España hasta comenzado el siglo XX.

Se puede concluir que, si bien España no tuvo un papel protagonista, tampoco fue ajena a la incorporación y a la propagación de los nuevos conocimientos en la formación de los ingenieros. Otra cuestión diferente es la de medir las consecuencias del efecto difusor en la creación de un potente sector de construcción de bienes de equipo, pero eso va más allá del alcance de este capítulo.

Agradecimientos. Quisiéramos agradecer las facilidades dadas por la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos, la E.T.S.I. Industriales y la E.T.S.I. de Minas de la Universidad Politécnica de Madrid para la consulta de sus valiosos fondos bibliográficos. Extendemos de manera especial nuestro reconocimiento al personal de sus bibliotecas.

TRATADOS DE REFERENCIA

- 1763 BOSSUT, Ch.: *Traité élémentaire de mécanique et de dynamique. Appliqué principalement aux mouvements des machines*, Charleville, Pierre Thesin.
- 1772 BOSSUT, Ch.: *Traité élémentaire de mécanique statique*, París, Claude-Antoine Jombert.
- 1781 COULOMB, C.: *Théorie des machines simples*, París, Moutard.
- 1786 CARNOT, L.: *Essai sur les machines en général*, Dijon, Defay. Nueva edición, *Principes fondamentaux de l'équilibre et du mouvement*, París, Bachelier, 1803.

- 1795 EVANS, O.: *The young mill-wright & miller's guide*, Filadelfia, Evans.
- 1808 BUCHANAN, R.: *Teeth of wheels comprehending principles, and their application in practice to millwork and other machinery*, Londres, William Savage.
- 1808 LANZ, J. M., y A. BETANCOURT: *Essai sur la composition des machines*, París, L'Imprimerie Impériale.
- 1810 GUENYVEAU, A.: *Essai sur la science des machines*, Lyon, J.B. Kindelém.
- 1811 HACHETTE, J.-N.-P.: *Traité élémentaire des machines*, París, J. Klostermann.
- 1814 BUCHANAN, R.: *Essay on the shafts of mills containing their description and use, with the kinds of stress to which they are subject and an inquiry into their stiffness, strength, durability and proportion*, Londres, William Savage.
- 1818-1821 BORGNIS, J.-A.: *Traité complète de mécanique appliquée aux arts*, París, Bachelier. Vol. 1: *Composition des machines*. Vol. 2: *Mouvements des fardeaux*. Vol. 3: *Des machines employées dans les constructions diverses*. Vol. 4: *Des machines hydrauliques*. Vol. 5: *Des machines d'agriculture*. Vol. 6: *Des machines employées dans diverses fabrications*. Vol. 7: *Des machines qui servent à confectionner les étoffes*. Vol. 8: *Des machines imitatives et des machines théâtrales*. Vol. 9: *Théorie de la mécanique usuelle*.
- 1822-1825 CHRISTIAN, G. J.: *Traité de mécanique industrielle ou exposé de la science de la mécanique déduite de l'expérience et de l'observation*, París, Bachelier. Traducido por Francisco Arau y Sanpons: *Tratado de mecánica industrial*, Barcelona, Ignacio Estivill, 1849.
- 1825-1826 DUPIN, C.: *Géométrie et mécanique des arts et métiers et des beaux-arts*, París, Bachelier. T. 1: *Géométrie*. T. 2: *Mécanique*. T. 3: *Dynamie*. Traducido por Juan López de Peñalver: *Geometría y mecánica de las artes y oficios y de las bellas artes*, Madrid, Imprenta de Don José del Collado, 1830.
- 1829 CORIOLIS, G.-G.: *Du calcul de l'effet des machines ou considérations sur l'emploi des moteurs et sur leur évaluation*, París, Carilian-Goeury.
- 1832 MORIN, A.-J.: *Nouvelles expériences sur le frottement faites à Metz en 1831*, París, Bachelier.
- 1834 AMPÈRE, A.-M.: *Essai sur la philosophie des sciences ou exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines*, París, Bachelier.
- 1837 MORIN, A.-J.: *Aide-mémoire de mécanique pratique*, Metz / París, Mme. Thil, L. Mathias.
- 1838 AZOFRA, M. M.: *Curso industrial o lecciones de aritmética, geometría y mecánica, aplicadas a las artes*, Valencia, Oficina de Manuel López.
- 1838 NAVIER, C.-L.-M.-H.: *Résumé des leçons données à l'École des Ponts et Chaussées sur l'application de la mécanique à l'établissement des constructions et des machines*, París, imprimerie et fonderie de Fain. P. 3: *Leçons sur l'établissement des machines*.
- 1839 ODRIOZOLA, J.: *Mecánica aplicada a las máquinas operando*, Madrid, Imprenta del Colegio de Sordo-mudos.

- 1839 PONCELET, J.-V.: *Mécanique industrielle exposant les différentes méthodes pour déterminer et mesurer les forces motrices ainsi que le travail mécanique des forces*, Bruselas, Melina, Cans et compagnie.
- 1841 MORIN, A.: *Notice sur divers appareils dynamométriques*, París, Crapelet.
- 1841 WILLIS, R.: *Principles of mechanisms*, Londres, John W. Parker, West Strand.
- 1842 OLIVIER, T.: *Théorie géométrique des engrenages*, París, Bachelier.
- 1845 CLAUDEL, J.: *Formules, tables et renseignements pratiques*, París, Fain et Thunot.
- 1845 PONCELET, J.-V.: *Traité de mécanique appliquée aux machines*, Lieja, Librairie scientifique et industrielle de A. Leroux.
- 1846 MORIN, A.: *Notions fondamentales de mécanique et données d'expérience*, París, Librairie scientifique-industrielle de L. Mathias. Traducido por Francisco Arau y Sanpons: *Curso completo de mecánica industrial*, Barcelona, Librería nacional y extranjera de Salvador Manero, 1858.
- 1847 JARIEZ, J.: *Cours élémentaire de mécanique industrielle*, París, Mathias.
- 1848 ARAU, F.: *Tratado completo de maquinaria teórico y práctico*, Barcelona, Imprenta de I. Estivill.
- 1848 REDTENBACHER, F.: *Resultate für den Maschinenbau*, Mannheim, Friedrich Basermann.
- 1848 RICHARD, T.: *Aide-mémoire général et alphabétique des ingénieurs*, París, J. Dumaine.
- 1851 DELAUNAY, C.: *Cours élémentaire de mécanique théorique et appliquée*, París, Victor Masson. Traducido por José Canalejas y Casas: *Curso elemental de mecánica teórica y aplicada*, Madrid, Bailly-Bailliere, 1864.
- 1853 MONTESINO, C. S.: *Resumen de las lecciones del curso de construcción de máquinas*, Madrid.
- 1854 LABOULAYE, C.: *Traité de cinématique ou théorie des mécanismes*, París, Librairie Lacroix-Comon.
- 1855 ARAU, F.: *El maquinista práctico*, Barcelona, Administración y Redacción del Plus Ultra.
- 1859 VALDÉS, N.: *Manual del ingeniero*, París, J. Dumaine.
- 1861 REULEAUX, F.: *Der Constructor*, Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn.
- 1863 ARMENGAUD, A.: *Le vignole des mécaniciens*, París, A. Morel et Cie.
- 1864 HATON, J.-N.: *Traité des mécanismes renfermant la théorie géométrique des organes et celle des résistances passives*, París, Gauthier-Villars.
- 1865-1874 BOUR, E.: *Cours de mécanique et machines professé à l'École Polytechnique*, París, Gauthier-Villars. Fasc. 1: *Cinématique*. Fasc. 2: *Statique*. Fasc. 3: *Dynamique et hydraulique*.
- 1869 RANKINE, W. J. M.: *A manual of machinery and millwork*, Londres, Charles Griffin and Company.
- 1871 BROWN, H. T.: *Five hundred and seven mechanical movements*, Nueva York, Brown, Coombs & C^o.

- 1875 GRASHOF, F.: *Theoretische maschinenlehre*, Leipzig, Leopold Voss.
- 1875 REULEAUX, F.: *Theoretische Kinematik. Grundzüge einer Theorie des Maschinenwesens*, Braunschweig, Friedrich Vieweg und Sohn. Publicada en español bajo la dirección de Francisco Nacente Soler en *Tratado general de mecánica*, Barcelona, J. Romá, 1886.
- 1879 HERRMANN, G.: *Zur graphischen Statik der Maschinengetriebe*, Braunschweig, Vieweg.
- 1886 KENNEDY, A. B. W.: *Mechanics of machinery*, Londres, Macmillan and C^o.
- 1888 BURMESTER, L.: *Lehrbuch der Kinematik*, Leipzig, Arthur Felix.
- 1889 ARANAZ, R.: *Los mecanismos*, Madrid, Imprenta de D. Luis Aguado.
- 1889 SMITH, R. H.: *Graphics or the art of calculation by drawing lines*, Londres, Longmans, Green and C^o.
- 1890 GARCINI, V.: *Clase de máquinas*, Madrid, Establecimiento tipográfico de Fortanet.
- 1890 UNWIN, W. C.: *The elements of machine design*, Londres, Longmans, Green and C^o. P. 1: *General principles, fastenings, and transmissive machinery*. P. 2: *Chiefly on engine details*.
- 1898 JONES, F. R.: *Machine design*, Nueva York, John Wiley & Sons. P. 1: *Kinematics of machinery*. P. 2: *Form, strength and proportions of parts*.
- 1899 BARR, J. H.: *Kinematics of machinery: a brief treatise on constrained motions of machine elements*, Nueva York, John Wiley & Sons.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALONSO J. M.^a: *La ingeniería industrial española en el siglo XIX*, Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial, 1961, 2.^a ed.
- y K. CHATZIS: «L'enseignement de la mécanique appliquée en France au début du XX^e siècle», *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, 46, 1998, pp. 29-46.
- CANO PAVÓN, J. M.: *Estado, enseñanza industrial y capital humano en la España isabelina (1833-1868): esfuerzos y fracasos*, Málaga, Imprenta Montes, 2001.
- Catálogo de la Biblioteca de la Escuela Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos*, Madrid, Imprenta Nacional, 1859, 1864, 1875, 1883 y 1896.
- CHASLES, M.: *Exposé historique concernant le cours de machines dans l'enseignement de l'École Polytechnique*, París, Imprimerie Gauthier-Villars, 1880.
- CHATZIS, K.: «L'enseignement des machines au CNAM (1839-1915). Une mécanique sans mathématique?», *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, 46, 1998, pp. 13-28.
- COMBES, C., E. PHILLIPS y E. COLLIGNON: *Exposé de la situation de la mécanique appliquée*, París, Imprimerie Impériale, 1867.
- CUADRADO, J. I., y M. CECCARELLI: «El nacimiento de la teoría de máquinas y Betancourt», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. III: *El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal*, Zaragoza, Real Academia de Inge-

- nería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005, pp. 131-181.
- DUPONT, J.: «Le cours de machines de l'École Polytechnique, de sa création jusqu'en 1850», *Sabix*, 25, 2000, pp. 1-35.
- FORONDA Y GÓMEZ, M.: *Ensayo de una bibliografía de los ingenieros industriales*, Madrid, Estades, 1948.
- GRELON, A.: «La naissance de l'enseignement supérieur industriel en France», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, 1, 1996, pp. 40-60.
- KOETSIER, T.: «Lazare Carnot's theory of machines and the background of Ampère's introduction of the word *kinematics*», en *Proceedings of 13th National Conference on Mechanisms and Machines*, Bangalore, 2007, pp. 29-35.
- «Ludwig Burmester (1840-1927)», en M. Ceccarelli (ed.): *Distinguished figures in mechanism and machine science*, parte 2, Dordrecht / Heidelberg / Londres / Nueva York, Springer, 2010, pp. 43-64.
- MACHIMBARRENA, V.: *Memorias de la Escuela de Caminos*, Madrid, Tipografía Artística, 1940.
- MOON, F. C.: «Franz Reuleaux. Contributions to 19th century kinematics and theory of machines», *Applied Mechanics Reviews*, 56, 2003, pp. 261-286.
- OLIVEIRA, A. R. E.: «The contribution of Coulomb to applied mechanics», en M. Ceccarelli (ed.): *International Symposium on History of Machines and Mechanisms*, Dordrecht / Boston, Kluwer, 2004, pp. 217-226.
- *A evolução do conceito físico de trabalho no contexto das máquinas*, tesis, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.
- SÉRIS, J.-P.: *Machine et communication*, París, Vrin, 1987.
- SILVA SUÁREZ, M. (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. III: *El Siglo de la Luces. De la industria al ámbito agroforestal*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005.
- (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. V: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007.
- WAUER, J., K. MAUERSBERGER y F. C. MOON: «Ferdinand Jakob Redtenbacher (1809-1863)», en M. Ceccarelli (ed.): *Distinguished figures in mechanism and machine science*, parte 2, Dordrecht / Heidelberg / Londres / Nueva York, Springer, 2010, pp. 217-245.

De vapor y de gas: perspectivas sobre los motores de combustión

Manuel Silva Suárez
Universidad de Zaragoza

En primera instancia, la Revolución Industrial queda caracterizada por los progresos alcanzados para que los sistemas productivos o de transporte dispongan de abundante energía inanimada. Energética por excelencia, esta *revolución* tiene en la máquina de vapor su icono por antonomasia. Sin embargo, en el último tercio del Ochocientos, semejantes motores alternativos se sustentan en un saber hacer maduro. Finalizada la centuria, este tipo de ingenio «se bate en retirada» ante otras tres propuestas que llevan a nuevos y prometedores desarrollos: 1) los motores de combustión interna, básicamente ingenios alternativos de gas (posteriormente de combustible líquido) *con* compresión previa a la ignición; 2) las máquinas eléctricas; y 3) las turbinas. De este modo, el Ochocientos no solo verá la definitiva consolidación de las máquinas alternativas de vapor, con desarrollos fundamentales en las dos centurias precedentes, sino también las bases de su declinar. En España este culminará bastantes décadas después con las últimas locomotoras de vapor, que llegaron a funcionar con cierta regularidad incluso en la década de 1970.

De potencia másica mucho más favorable, instalación y operación más fáciles, volumen y peligrosidad menores, los motores de combustión interna no solo constituirán una opción, sino que para sectores como el automóvil o la aviación serán esenciales. Inicialmente adecuados para potencias pequeñas y medias, pronto participarán eficientemente en la motorización de la navegación marítima y, posteriormente, de la producción de energía eléctrica. En el proceso de sustitución de las máquinas de vapor alternativas, las turbinas —primero las de vapor, después las de gas— desempeñarán un importante papel, pero en España ello será más bien cosa del siglo xx.

Una característica peculiar de las máquinas térmicas, sean de combustión externa o interna, es su *cíclico* operar, su funcionamiento basado en un conjunto de fases (transformaciones o procesos termodinámicos) que ordenadamente se repiten con regularidad. Durante la primera mitad de la centuria, la reflexión sobre estos motores constituye un catalizador esencial en la formalización de la termodinámica como nueva ciencia con amplia base fenomenológica. Habiéndose reflexionado en la presentación de este volumen sobre su relación con los motores térmicos (secc. 0.I.1), pasamos a esclarecer el alcance de este capítulo.

I

UN INTENTO DE PERSPECTIVA DUAL: DE LIBROS E INNOVACIÓN

Una fuente importantísima para conocer la asimilación y el desarrollo de cualquier disciplina la constituye lo que las prensas nos dejaron en forma de patrimonio bibliográfico. Pero no es fácil, quizá sea hasta impropio, delimitar la historia de la técnica sin recurrir a las visiones complementarias que se ofrecen desde la historia industrial, tomando esta en su sentido más amplio, comprendiendo la del transporte terrestre y marítimo, entre otros sectores. Por otro lado, no resulta descabellado, aunque es criterio exigente, asumir que la implantación «definitiva» de las máquinas térmicas en España no comienza hasta que surgen los primeros fabricantes nacionales capaces de abastecer el mercado de forma regular, no esporádicamente¹. Para ello hemos de situarnos a mediados de la centuria, lo que se corresponde con la implantación de empresas como las barcelonesas Alexander Hermanos (AH) o La Maquinista Terrestre y Marítima (La MTM) y la sevillana Fundición de Hierros Portilla Hermanos y White (P&W)². Dentro de la modestia que corresponde, las dos últimas décadas de la centuria contemplarán la consolidación del sector, de modo que en 1889 Ramón Manjarrés, a la sazón director de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, coautor del artículo dedicado a las máquinas de vapor en el *Diccionario enciclopédico de agricultura* (M. LÓPEZ, J. HIDALGO y M. PRIETO, 1885-1889, vol. VIII, p. 528), afirma que su construcción

¹ Otro criterio menos restrictivo hubiera sido la recepción sistematizada y el subsecuente empleo de estos ingenios por el sistema productivo. En este caso habría de recordarse la incipiente actividad durante el último cuarto del Setecientos (J. HELGUERA, 2007), así como alguna que otra construcción posterior. Entre estas últimas, marcando extremos temporales, se encuentran la de Santponç en Barcelona (1805-1808) (A. ROCA, 2007) o, décadas posteriores, la de la fundición de José Safón, empresa fundada en 1844 en Madrid que realizó «algunas de las primeras máquinas de vapor construidas en España [...]». Hacia 1848, trabajaban en la fábrica 95 artesanos, siendo su director el ingeniero francés Jules Simian ayudado por el también francés señor Demoulen. La fábrica se estableció en el palacio en ruinas de los duques de Monteleón» (T. TORTELLA: *A guide to sources of information on foreign investment in Spain, 1780-1914*, Ámsterdam, International Institute of Social History, 2000, p. 81). En realidad, no fue hasta bien entrada la década de 1830 cuando la difusión de estos artefactos comenzó a dar signos claramente perceptibles en España, aunque fundamentalmente bajo el sello de la importación. Principalmente, ello tuvo lugar merced a los comienzos de la mecanización del algodón en Cataluña o a la construcción de buques de vapor.

² Nada más lejos de nuestro ánimo que el abocetar siquiera la historia de los constructores hispanos de máquinas térmicas. La documentación sobre las empresas es rara vez satisfactoria. Sin embargo, existen diversos trabajos que dibujan, aunque con acento y nitidez muy variables, el panorama en el sector, especialmente en Cataluña. Entre los que valoran la innovación técnica o se centran en las compañías a las que prestamos más atención: A. del CASTILLO (1955), R. GARRABOU (1982), J. NADAL (1983, 1991 y 1999), A. ESCRIBANO (1986), F. CABANA (1992), S. RIERA I TUÈBOLS (1993), J. I. MARTÍNEZ RUIZ (1998), M. RODRIGO (1999), J. MALUQUER DE MOTES I BERNET (2000), J. M.^a ORTIZ-VILLAJOS (2006 y 2008).

ha tomado recientemente algún vuelo en España; la *Maquinista terrestre y marítima*, y los señores Alexander, en Barcelona; Portilla y Compañía, en Sevilla; la *Primitiva valenciana*, de Valencia, y otras casas españolas, se dedican especialmente a la de máquinas fijas, marinas y hasta locomotoras. En el ramo de locomóviles, los extranjeros [más particularmente los constructores ingleses] continúan apoderados del mercado.

Valga precisar que el último aserto se refiere *sensu stricto* a la cuota de mercado, porque sabemos que la empresa malacitana Hijos de Heredia había construido en 1877 la que al parecer es la primera locomóvil española³. Así mismo, se sabe del modelo fabricado al año siguiente por La Primitiva Valenciana (v. fig. 12.12.2); finalmente, La MTM también las fabricaba a comienzos de la década de 1880 (v. fig. 0.2). Habida cuenta de que en el próximo volumen de esta colección está previsto un capítulo sobre «El material móvil para el transporte terrestre», en este no se abordará específicamente la problemática de la motorización de ferrocarriles o automóviles.

En la intersección entre la historia de los dispositivos y procedimientos técnicos y la historia industrial, los privilegios y patentes, sean *de introducción* (para la protección de saberes foráneos no registrados en España) o *de invención* (para salvaguardar desarrollos creativos propios), desempeñan un papel relevante como indicadores de la innovación. Con el modesto objetivo de esbozar una impresión de su nivel en el sector, se comentarán algunos de los privilegios y patentes más relevantes. A veces fueron debidos a inventores sin vinculación empresarial; en otros casos, a constructores de máquinas, algunos casi ignorados hasta ahora.

En suma, se estudia la temática bajo una doble óptica, en apariencia débilmente conectada. Por un lado, en la sección 12.II se contemplan los textos escritos en España, sin que los traducidos sean mencionados más que en algún caso puntual. Por otro, en la sección 12.III se consideran algunas patentes de invención, observando en paralelo a constructores representativos de motores. En otros términos, se trata de bosquejar lo que *se sabía* y lo que *se hacía*, en esta última dimensión con cierto énfasis en la inventiva nacional. Desde ambas perspectivas se observa cierto retraso y baja intensidad, pero presencia, a pesar de las extremadamente adversas circunstancias académicas e industriales. Como botón de muestra de estas últimas, valga recordar que

³ A. JEREZ PERCHET y N. MUÑOZ CERISSOLA: *Crónica de la visita de S. M. el rey Alfonso XII a la ciudad de Málaga en marzo de 1877*, El Museo, p. 77 (facsimil editado por la Feria del Libro de Málaga, 1996). Presentada en la Exposición Internacional de París de 1878 (v. A. B. LASHERAS PEÑA: *España en París: la imagen nacional en las exposiciones universales, 1855-1900*, tesis doctoral, Santander, Universidad de Cantabria, 2009, p. 717), muy probablemente el destino final de la mencionada locomóvil fuese el mover dos bombas de agua del sistema Ivogune con la que los propios señores Heredia regaban cerca de cien hectáreas de caña dulce de su hacienda denominada *Cortijo de la Isla* (F. PACHECO y F. MUÑOZ RUIZ: *La economía agraria de Málaga en 1879*, Universidad de Málaga / Universidad de Córdoba, 2009, p. 147).

la maquinaria extranjera pagó siempre unos derechos de entrada inferiores a los de las primeras materias que habrían podido servir para construir el equivalente en casa: en la pugna entre productores y consumidores (dirigidos por los algodonereros), la Dirección General de Aduanas se decantó regularmente a favor de los segundos⁴.

Conviene cuantificar lo anterior para precisar su alcance. Por ejemplo, debido a los aranceles, el incremento sobre el precio de compra en Inglaterra se situaba tan solo en el 2-3% para los motores (años 1842, 1862, 1869). Mientras tanto, ¡el mundo al revés!, para materia prima como el hierro colado los aranceles se elevaban al 60,4% (1853-1856), el 41% (1865) o el 25% (1869); para el carbón mineral, el arancel alcanzó el 103% en 1853-1855⁵. Sin duda, más patológico aún será el retraso en la construcción de locomotoras, no por ausencia de capacidad técnica, sino por condicionantes político-económicos; entre otros, las «prisas» por extender la red de ferrocarriles (cuyo negocio estuvo en la construcción), así como las restricciones impuestas sobre las compras por el capital extranjero inversor⁶. En efecto, la ley de 1855 terminó concediendo franquicias para la libre importación de materiales y maquinaria ferroviarios, «desviación» que se prolongó por más de un cuarto de siglo, lo que condicionó el retraso en la fabricación nacional de locomotoras. Esto es tanto más problemático cuanto que su potencia

ascendía a 108.864 HP en 1861, lo que suponía el 69% del total de máquinas de vapor fijas y móviles de España. Los otros sectores tenían una importancia mucho menor... [Por ejemplo, ¡dos décadas después!] la marina mercante 38.228 CV en 1880⁷.

Dicho de otro modo, los constructores hispanos estuvieron *institucionalmente* marginados del gran negocio motorizador del Ochocientos hasta las dos últimas décadas de la centuria. Por decirlo en otros términos, en «la carrera» que nos ocupa se comenzó «muy tarde», y además «lesionados» por la propia Administración hispana.

La historia de las máquinas térmicas es suficientemente conocida a nivel general, para lo que basta con asomarse a la infinidad de textos enciclopédicos sobre historia de la técnica o de la ciencia⁸. Por ello nos centraremos en su devenir en España, mar-

⁴ J. NADAL, 1991, p. 170.

⁵ Datos tomados de A. ESCRIBANO, 1986, pp. 142-143.

⁶ F. CAYÓN y M. MUÑOZ RUBIO, 2000.

⁷ A. ESCRIBANO, 1986, p. 141. Conviene anotar que *horse power* (HP) es concepto acuñado por James Watt en 1782. Expresa una relación entre la potencia (media) proporcionada por un caballo que tira de una carga y la de una máquina de vapor. Es unidad que no pertenece al sistema métrico decimal, y su traducción aproximada es el caballo de vapor (CV), definido como la potencia necesaria para elevar verticalmente 75 kilogramos a 1 metro de altura en 1 segundo: 1 CV \approx 0,986 HP \approx 735,5 vatios (atención: en Francia CV significa 'caballo fiscal', que no es unidad de potencia). Obsérvese que, por desafortunada traducción y posterior abuso del lenguaje, durante el siglo XIX con *caballo de fuerza* se hace referencia al HP (*power* significa 'potencia', pero también 'fuerza'); en esa misma línea se encuentran expresiones como «fuerzas desde [...] caballos en adelante».

⁸ Menos conocidas, entre las monografías ochocentistas sobre la historia de estos ingenios cabe reseñar la del ingeniero americano R. H. THURSTON: *A history of the growth of the steam-engine*

ginando a comentarios ocasionales la consideración de dispositivos, aquí auxiliares pero con vida propia, tan importantes como las calderas y los gasógenos.

Los dos personajes que, por excelencia, encarnan las contribuciones hispanas a la máquina de vapor son Jerónimo de Ayanz, auténtico precursor a comienzos del xvii, y Agustín de Betancourt, a finales del xviii y comienzos del xix⁹. Ambos previos al período que nos ocupa, se puede afirmar que desafortunadamente en ninguno de los casos las consecuencias en España fueron técnica o económicamente significativas. Durante el Ochocientos más que de aportaciones hay que hablar de *asimilación*, y, lamentablemente, no hay nombre de impacto fuera de las fronteras. En el ámbito energético-motórico, quizás el único relevante sea Jaime Arbós i Tor, sobre el que se volverá. Ideó, patentó y construyó el primer gasógeno de aspiración (producía el *gas Arbós*). Recuperada académicamente su memoria¹⁰, tampoco se puede decir que su invención tuviera un impacto industrial significativo.

II

LOS MOTORES TÉRMICOS EN LOS TEXTOS ESPAÑOLES

De acuerdo con lo avanzado, a continuación se presentan y valoran algunos de los textos escritos en España, sin hacer mención de los traducidos, salvo excepción.

(Nueva York, D. Appleton and Company, 1886), quien menciona a Blasco de Garay, considerado entonces un precursor. Entre las de temática más puntual, M. ARAGO: *Éloge historique de James Watt* (París, Institut Royal de France, 1839) y J. T. HENTHORN y Ch. D. THURBER: *The Corliss engine and its management* (Nueva York, Spon & Chamberlain, 1894). Un curioso libro en español, dirigido a la juventud y editado en París, que comienza con Blasco de Garay y que, tras «un rocambolesco giro patriótico», termina hablando de Isaac Peral es E. ZEROLO: *Historia de la máquina de vapor: precursores e inventores* (París, Libr. Española de Garnier Hermanos, 1889). Por otro lado, son muchos los textos técnicos que dedican un capítulo a la historia de la disciplina. Entre ellos se puede mencionar el importante y temprano de Th. TREDGOLD (1831), que tiene una documentada «Sección Primera», donde se hace somero eco de los trabajos de Agustín de Betancourt. Aunque naturalmente más tardío, sobre los motores de combustión interna, H. GÜLDNER: *Motores de combustión interna y gasógenos* (traducido de la 3.^a ed. alemana y ampliado por M. Lucini, Barcelona, Labor, 1928), tiene un singular «Apéndice Histórico» (pp. 693-810).

⁹ En esta colección, véanse los capítulos de N. GARCÍA TAPIA (2004) y J. I. CUADRADO y M. CECARELLI (2007), respectivamente. Valga apuntar que a lo largo de este trabajo desfilan diversos personajes particularmente relevantes de la técnica y la ciencia ochocentista hispana. Algunos de ellos han recibido apuntes biográficos en volúmenes anteriores, otros los recibirán en el próximo (vol. vii). En el vol. iii (2005), se puede leer el de Agustín de Betancourt y Molina (1758-1824, pp. 510-511), mientras que en el vol. v (2007) se recogen los de Pelayo Clairac Sáenz (1839-1891, p. 640), Gustavo Fernández y Rodríguez Bastos (1841-1929, p. 651), Francisco de Paula Rojas Caballero-Infante (1831-1909, pp. 700-701), Nicolás Valdés y Fernández († 1872, pp. 710-711) o Gumersindo de Vicuña y Lezcano (1840-1890, p. 714).

¹⁰ Por ejemplo, casi separados una centuria, V. CALZAVARA (1908) y P. BERNAT (2003).

La motorización durante el XIX tendrá por destinatarios principales los vehículos para el transporte (locomotoras y buques, esencialmente), la industria (desde la minería a la textil) y, en menor grado, la agricultura o las obras públicas. Habida cuenta que en el próximo volumen se considerarán las locomotoras y los automóviles, en el panorama que aquí se ofrece se abunda en los textos con vocación industrial y marina.

Sin pretensión alguna de exhaustividad, pero dibujando el paisaje, los textos no se presentan según una organización cronológica general, sino en cuatro grupos de cierta homogeneidad intencional.

II.1. *Los textos de la Marina*

Se arranca con el primer texto de carácter técnico escrito monográficamente en España sobre la máquina de vapor, presentándose, además, otros que van espaciándose muy aproximadamente dos décadas entre sí. Las obras de Juan José MARTÍNEZ Y TACÓN (1835) y Francisco CHACÓN Y ORTA (1850-1852 y 1859) se deben a oficiales del Cuerpo General de la Marina, mientras que las redactadas por Gustavo FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ (1879) y por José QUINTANA Y JUNCO y Joaquín ORTIZ DE LA TORRE (1903) fueron escritas por ingenieros de la Marina. Ya un tanto fuera de la centuria, pero como contrapunto a la técnica del vapor, hacemos referencia al libro de los oficiales Ramón ESTRADA y Antonio MAGAZ (1908).

La *Descripción de las máquinas de vapor y de sus más importantes aplicaciones* (J. J. MARTÍNEZ Y TACÓN, 1835) es la primera monografía técnica dedicada a estos ingenios escrita por un español¹¹. Conviene detenerse un poco en ella, señalando su énfasis en el estudio de las calderas. Como dice la aclaración que contiene la portada, fue «redactada en presencia de las mejores obras, y de los informes de los primeros artistas de los Estados-Unidos de América». En efecto, su autor, teniente de navío, había sido enviado «para hacer construir un pontón de vapor destinado a limpiar el Puerto de la Habana». En el prólogo declara que,

no teniendo yo entonces conocimiento de una materia que ha llegado a ser de la más alta importancia para las artes, la navegación y el comercio, me propuse redactar todas las nociones que de ella fuera adquiriendo, con el objeto de poderlas comunicar a mis dignos compañeros.

Si bien la redacción del texto se concluyó en diciembre de 1831, su publicación se demoró casi cinco años. En efecto, en ese período terminal del nefasto reinado fernandino, el autor confiesa en el prólogo ser

víctima de enconada e injusta persecución del Gobierno de aquella desgraciada época, [y] fue desatendido mi trabajo y condenado al olvido, como acostumbraba hacer el tribunal del Santo Oficio, IN ODIUM AUCTORIS, con muchas obras de utilidad conocida.

¹¹ No podemos considerar como tal la curiosa y simpática obra de M. M. del MÁRMOL (1817), catedrático de la Universidad de Sevilla. Quizás el primer libro en castellano (traducido por Jerónimo de la Escosura) sea el interesante texto del ingeniero inglés Th. TREGOLD, 1831 (ed. original, 1828).

Lo anterior entrañará dependencias y costes exorbitantes. En particular, destinados a la contienda entre cristinos y carlistas, los primeros vapores militares venidos a España pocos años después hubieron de llegar con tripulaciones inglesas, oficiales incluidos, todos contratados con sueldos y graduaciones militares fuera de norma¹².

Autocalificado de tratado y de ensayo, el texto se estructura en siete capítulos que se pueden agrupar en cuatro partes. Los dos primeros presentan los «Principios físicos y mecánicos aplicables a la construcción de las máquinas de vapor», y llegan a hablar de combustión, combustibles y combustores; las calderas son el objeto del tercero, que da pie a los tres centrales, dedicados a los elementos y el sistema que forman una máquina de vapor, hablando hasta de las que «obran expansivamente» y las de alta presión. El último capítulo se centra en aplicaciones, esencialmente en la introducción de la máquina de vapor en el ámbito marino, donde se hace un recorrido histórico de la motorización de los bajeles¹³.

En lo relativo a la física, el texto recuerda conceptos básicos generales: fuerzas, centros de gravedad, combustión, etc. Interesa aquí particularmente reseñar que habla de «las dos fuerzas grandes y opuestas, [...] la atracción y el calor», cuyo equilibrio determina el estado mecánico de un cuerpo. Es efecto del *calórico*¹⁴ la dilatación-expansión, y se mencionan sus modos de transmisión. Este texto se puede contemplar también como el primero redactado en español que se ocupa de cuestiones de transferencia de calor, e incluye las primeras tablas «del poder radiador de distintos cuerpos» (emitancia, p. 36), y «del poder conductor de diferentes cuerpos» (conductividad, p. 38).

Reflejo de sus fuentes de información y de experiencias vividas, emplea con frecuencia las unidades anglosajonas (por ejemplo, la escala termométrica de Fahrenheit, °F, cuando tabula la relación temperatura-presión del vapor de agua saturado, que expresa en atmósferas y en libras por pulgada cuadrada, p. 32), aunque en ocasiones usa algunas medidas castizas hispanas, como el azumbre (p. 130), lo que es comprensible en tanto que el sistema métrico decimal aún no constituía norma en España.

En el capítulo sobre calderas habla de los materiales más adecuados (básicamente: cobre o hierro en planchas y fundido) y de las formas geométricas óptimas (con matices: «la figura cilíndrica es la más aparente que puede dársele»), a la luz de conceptos como la resistencia mecánica o la eficacia en la transmisión del calor. Incide en la problemática de las incrustaciones salinas, con sus consecuencias sobre el

¹² A ello alude el autor cuando dice en el prólogo, que curiosamente firma en marzo de 1836: «De haber salido a la luz cuando debía, habríase evitado el desaire sufrido por la Oficialidad del Cuerpo de la Real Armada, considerándola incapaz de manejar barcos de vapor de guerra; la Nación hubiera economizado sumas considerables, y no se habría resentido el servicio de faltas de homogeneidad y de armonía».

¹³ No obstante, el autor anuncia su intención de publicar «la historia de la invención y adelantos de las máquinas de vapor» (p. 182).

¹⁴ Al que alude en nota (p. 22): «*Calórico*: los químicos modernos han adoptado generalmente esta voz para designar *la causa del calor*».

rendimiento y la elevación de temperaturas, así como en los medios y procedimientos de limpieza de las calderas. Considera los problemas de instrumentación (medidores de nivel, presión, etc.) y de regulación, del nivel de agua o el denominado *apagador*¹⁵. Además, dedica amplio espacio a las cuestiones de seguridad (tipos de válvulas y su ubicación, los métodos de operación y pruebas, etc.). Testigo de explosiones de calderas, aborda condicionantes en el diseño para evitarlas o que, en caso de producirse, no tengan efectos colaterales mayores.

Aunque su preocupación principal será la propulsión de bajeles y locomotoras, la monografía se circunscribe en sus capítulos centrales al paradigma de la máquina con condensador y doble efecto, considerando los procesos de vaciado del condensador (mediante la *bomba neumática*) y de alimentación (empleando una *llave de inyección*). Entre las innovaciones introducidas por James Watt, explica los mecanismos para la obtención de movimientos rectilíneos (paralelogramo), la regulación de la velocidad, merced al que denomina *péndulo cónico* (regulador centrífugo que actúa sobre la *válvula de comunicación*), o la alimentación en vapor en las dos caras del cilindro. Además, menciona a los *volantes* de inercia, uniformizadores del movimiento, que no reguladores¹⁶. La interacción potencia demandada (por el proceso)-potencia generada en la caldera la describe en estos términos (p. 133):

Quando la *válvula de comunicación* obra disminuyendo la salida del vapor que viene de la caldera, el fluido elástico se acumulará en esta, y su densidad y elasticidad aumentarán así como su temperatura, obrando por consecuencia sobre la boya que contrapesa al apagador que obra por sí mismo, que bajará disminuyendo la abertura de la chimenea, de forma que la disminución del gasto del vapor obra así disminuyendo la intensidad del fuego que lo produce; y si llega a aumentarse con demasiada rapidez, la válvula de seguridad le dará salida.

Esta *visión sistémica* le permite afirmar que «las máquinas de condensación y acción doble obran casi enteramente por sí mismas», resaltando que hasta el mantenimiento de la combustión «se ha conseguido que lo haga la máquina». ¡La importancia de la automatización!

Tomando como ejemplo una máquina «construida en Leeds, por Murray, Fenton y Wood»¹⁷, aborda la descripción de un material representativo del estado del arte.

¹⁵ Dispositivo al que califica de *obrar por sí mismo* (pp. 92-93); se trata de un atenuador del proceso de combustión, destinado a evitar la sobreproducción de vapor.

¹⁶ Un volante es un dispositivo mecánico con un importante momento de inercia que se emplea para almacenar energía de rotación. Oponiéndose a las fluctuaciones en la velocidad, ayuda a estabilizarla (diríase, filtra atenuando las perturbaciones de alta frecuencia). Es útil cuando un motor opera a través de movimientos alternativos (p. ej., en las máquinas térmicas), o la carga es intermitente (p. ej., en las bombas de pistón).

¹⁷ Como tal compañía operó a partir de 1797. Después de que en 1800 expirase la patente de Watt sobre el condensador separado, se convirtió en la principal competencia de la empresa de Boulton y Watt. Murray, Fenton y Wood fue una empresa que introdujo numerosas innovaciones. Sus diseños fueron más compactos, menos pesados, más eficientes y fáciles de ensamblar y operar.

Desde un punto de vista energético menciona la recirculación de agua caliente (proveniente del condensador), o la *capa*, en definitiva la camisa de Watt (calorifugado del cilindro con vapor). Entre otros temas, al explicar el conjunto cilindro-émbolo recuerda la necesidad de un mecanizado de precisión y un buen ajuste, obteniéndose la deseada estanqueidad «con cáñamo humedecido con aceite o grasa»¹⁸. Dejando esta descripción, se concentra en las máquinas de alta presión y la denominada «carrera incompleta», que se obtiene «interceptando el vapor anticipadamente en el movimiento del émbolo». Idea ya conocida por Watt, consiste en emplear el «trabajo expansivo» del vapor¹⁹. Se trata de una subfase en la que, sin entrada adicional de vapor, el émbolo es impulsado por la presión residual del mismo contenido en el cilindro (p. 161):

Cuando se intercepta así el vapor no pierde toda su potencia, ni disminuye repentinamente de fuerza, porque siendo elástico, y obrando contra un vacío parcial en el condensador, se dilatará hasta que llene el Cilindro, o hasta que la fricción y la resistencia del vacío parcial del condensador llegue a ser equivalente a su propia fuerza expansiva.

De este modo, para efectos análogos se consiguen importantes economías de vapor, de combustible por tanto, advirtiendo que, «cuando una máquina obra expansivamente, no debe jamás permitirse que el vapor se dilate más del doble espacio que ocupa bajo la presión atmosférica» (p. 164). La utilidad de este modo de operación y los condicionantes sobre el diseño de la máquina los analiza con detalle. Realiza una exposición incremental desde una consideración muy simplificada del comportamiento, añadiendo progresivamente elementos de realidad (donde integra las resistencias mecánicas por fricción o la imperfección del vacío en el condensador). Una de sus conclusiones es «que puede hacerse que la misma máquina ejecute doble trabajo del que ejecutaría por el método común de emplear el vapor en baja presión y no interceptarlo» (p. 170).

¹⁸ Insiste en la necesidad de su periódico reajuste, por efecto del natural desgaste. Describe incluso el ingenioso método debido a Woolf para ajustar el forro (por compresión) sin tener que quitar la tapa del cilindro (p. 147 y fig. 3 en lám. 10.^a). También explica el forro metálico de Cartwright.

¹⁹ Estos ingenios operan con válvulas *de admisión* de vapor al cilindro y *de escape*, para su evacuación si ya ha realizado el trabajo requerido. En el caso más simple, las válvulas se abren y se cierran en puntos fijos de la carrera del émbolo. Pero eso no es siempre conveniente: la mayor potencia se logra manteniendo la válvula de entrada abierta durante todo el movimiento de impulso (por lo tanto, se dispone de la presión de la caldera, menos las pérdidas), mientras que el máximo rendimiento energético se consigue con la válvula de entrada abierta por un corto espacio de tiempo, dejando luego que el vapor se expanda en el cilindro (trabajo expansivo). El punto *corte* (*cutoff*) es aquel en que el vapor deja de ser inyectado en el cilindro; su valor óptimo varía dependiendo del equilibrio deseado entre potencia y eficiencia energética. No obstante, debido al incremento de las condensaciones al introducir el vapor y a las resistencias mecánicas pasivas, entre otras causas, un aumento excesivo de la expansión deja de ser ventajoso.

El interés de las altas presiones (en el momento se considera como tal unas 6 atmósferas) y «acción expansiva» pura es particularmente crucial cuando la máquina ha de operar sin condensador, oponiéndose el vapor «a la presión total de la atmósfera». La eliminación del condensador, de los depósitos de agua fría, de las bombas neumática, de agua fría y de agua caliente... resultan en una máquina mucho menos voluminosa y pesada, apropiada para locomoción («carruages [...] locomotores, barcos que navegan en poco agua, etc.»).

Merece la pena recoger su reflexión final sobre las máquinas de vapor, de las que afirma haber descrito «las de uso más general y más perfectas»:

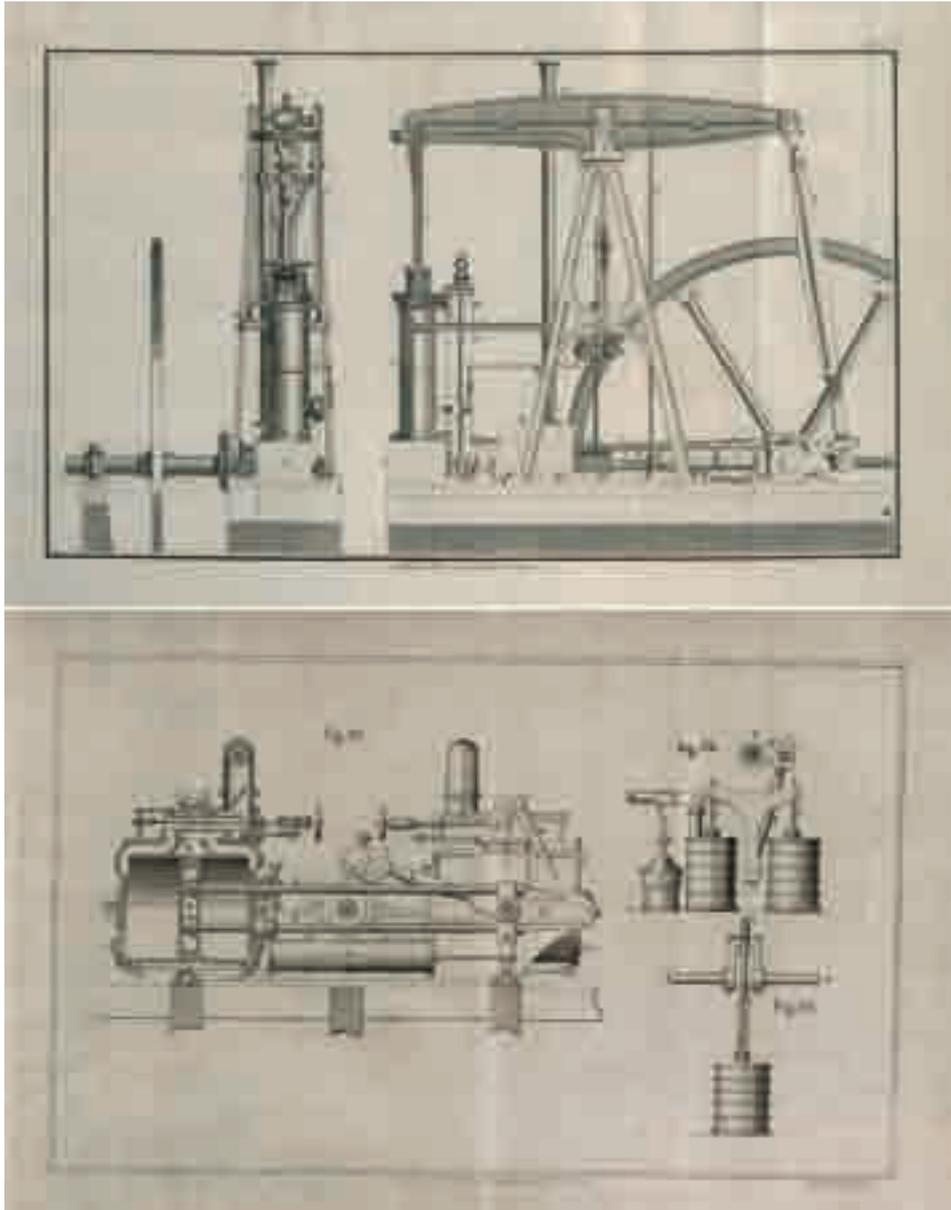
Para su introducción y adelantos progresivos han sido precisos talentos de invención de primera clase, y la ejecución de los ingenios más sublimes; en los usos a que se le destina vemos desenvueltas y realizadas las brillantes ideas de la poesía; ha variado el estado del mundo alterando las relaciones de la sociedad civilizada; y debemos esperar de sus ulteriores progresos que todavía preste servicios más importantes, y que llegará a ser el principal agente de todas las operaciones sociales, guerreras y mercantiles.

Actualizada y de calidad, la obra es vocacionalmente descriptiva, no analítica, y oculta a veces la posible complejidad de los cálculos, aunque ofrece bastantes datos. Es un texto pretermodinámico en el sentido de que en 1831 ni el primer principio ni el segundo eran conocidos; por consiguiente, no se sabía de la existencia de límites teóricos, pero Martínez y Tacón constata la existencia de límites prácticos para el rendimiento de estas máquinas²⁰. Aun no siendo obra donde se relaten innovaciones de cuño personal, se puede decir que es moderna, pues el autor está al tanto del estado del arte, algo que se fundamenta no solo en lecturas, sino también en una práctica a la que él mismo alude. Marino distinguido, será ascendido a almirante de la Armada (capitán general, según la reorganización de 1869) y llegará a ocupar el cargo de presidente del Consejo Supremo de la Armada hasta su fallecimiento (1875). En suma, a pesar de su interés por la técnica, que también demostró escribiendo sobre otros temas, fue en esencia un militar.

La segunda obra original escrita desde la Marina parece ser la de Francisco Chacón y Orta²¹. Inicialmente compuesta como dos textos complementarios (F. CHACÓN Y ORTA, 1850 y 1852), en 1858 es objeto de una edición integrada, y al año siguiente de una nueva, esta vez revisada y aumentada, aunque con el mismo esquema básico. Entre ambas se sitúa la interesante traducción ampliada de José de CARRANZA Y ECHEVARRÍA (1857), que toma como base dos textos ingleses de Th. J. Main (profesor de

²⁰ Su fecha de escritura justifica la consideración de las ruedas de paletas como propulsor de los buques. En este sentido, recuérdese que la hélice («tornillo sin fin») será un tipo de dispositivo que recibirá diversas patentes en las décadas tercera y cuarta del siglo XIX. No será considerada como alternativa real a las paletas hasta lustros después de la publicación de esta monografía.

²¹ Capitán de navío de la Armada, llegará a dirigir el Depósito Hidrográfico y a ser elegido académico de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales (RACEFN) en 1863.



12.1. Láminas de los atlas correspondientes a la Descripción de las máquinas de vapor de J. J. MARTÍNEZ Y TACÓN (1835) y a la Breve idea de las máquinas de vapor de F. CHACÓN Y ORTÁ (ed. de 1859): 1) Máquina de balancín superior (por tanto, cilindro vertical) y alta presión (en este atlas predominan las ilustraciones de carácter realista, alternadas con alguna sección o detalle; grabado en París por Ambrosio Tardieu, lám. 5); 2) Fig. 115: «máquina de acción directa y cilindros sencillos fijos» en la que la barra de conexión G está invertida y unida a una cruceta d' colocada entre los dos vástagos que nacen del émbolo; figs. 116 y 117: «máquina de acción directa y doubles cilindros fijos», según el sistema de Maudslay, que emplea dos grandes piezas de hierro forjado en forma de T, ambas unidas a los extremos superiores de los vástagos de cada émbolo y a la barra de conexión por el pie T' (ilustraciones basadas en una sección y vistas complementarias, respectivamente; en el atlas abundan las secciones, que se alternan con vistas en proyección ortogonal o isométrica. J. Abruñedo litografió, Impr. y Litogr. de Brid Regadera y Cía., Oviedo).

matemáticas) y Th. Brown (jefe de maquinistas), ambos del Real Colegio Naval de Portsmouth: *The marine steam engine. designed chiefly for the use of the officers of Her Majesty's Navy*, «la cual, si bien está escrita con tendencia práctica, contiene en todos sus elementos los principios más científicos», e *Indicator and dynamometer, with their practical applications to the steam-engine*. En el prefacio de su compilación, que define como «un ensayo», confiesa este teniente de navío que «a la completa traducción de estos escritos he agregado artículos, descripciones y láminas, que manifiestan separadamente los detalles más interesantes de las máquinas para las ruedas de paletas y para el hélice», tomados de diversas obras. Es muy importante apuntar que el texto concluye con un significativo glosario inglés-francés-español.

La *Breve idea de las máquinas de vapor y sus aplicaciones a la navegación* fue redactada por el capitán de navío para uso de los alumnos del colegio naval militar. Tomando como referencia las ediciones integradas de 1858 y 1859, se presenta dividida en dos partes: la primera corresponde al título del texto, y la segunda, al «Manejo de las máquinas de vapor a bordo» (donde el autor se extiende sobre cuestiones como el ahorro de combustible, las averías —reparaciones, marcha degradada—, el mantenimiento y la limpieza o la operación en puertos). De carácter eminentemente descriptivo y elemental, Chacón y Orta reconoce su deuda con los textos de Martínez y Tacón y de Tredgold, entre otros. Considera el esquema básico de una máquina de Watt de doble efecto, incluso con expansión de vapor, y se extiende algo en los sistemas de alimentación y evacuación del vapor al cilindro²², pero, por ejemplo, no habla explícitamente de las máquinas Corliss²³. Tampoco profundiza en las máquinas de expansión múltiple (*compound*), ni entra en justificaciones termodinámicas o de teoría de mecanismos. Según la conexión del émbolo con el cigüeñal, clasifica las máquinas marinas en uso como de balancines, de acción directa y cilindros fijos, de acción directa y cilindros oscilatorios, o de acción directa y émbolo anular (*trunk*), y pueden ser de baja o

²² Secciones «De las llaves y válvulas» (válvulas, corredera locomotora, D larga, D corta, de Seaward, cilíndricas y llaves) y «De las escéntricas».

²³ La primera de una serie de patentes de George Henry Corliss (1817-1888) fue depositada en 1849. Se trata de una de las innovaciones más importantes en el sector durante el siglo XIX, pues, además de reducir sensiblemente el consumo de carbón (se llegó a ahorros del orden del 30%), mejoraba sustancialmente la uniformidad del movimiento, en particular si se admitía el vapor de agua al cilindro un poco antes de llegar el émbolo al punto muerto de avance o final de su recorrido, ya que así se amortiguaba la carrera a alta velocidad. Provistas con cuatro válvulas rotativas (diseño revolucionario en su momento, aunque con precedentes), las máquinas de vapor Corliss permitieron aperturas y cierres con secuenciación adaptable, dependiente del régimen que se pretendía. Durante las décadas de 1850 y 1860 este sistema se difundió con gran éxito en los Estados Unidos, donde el ingeniero estadounidense dirigía su propia empresa. Adicionalmente, iniciada en Gran Bretaña en 1862, su fabricación en Europa se aceleró tras la Exposición Universal de París de 1867. Sobre su impacto puede consultarse N. ROSENBERG y M. TRAJTENBERG: «A general purpose technology at work: the Corliss steam engine in the late 19th century US», *The Journal of Economic History*, 64 (1), 2004, pp. 61-99, esp. pp. 75 y 77.

alta presión, con expansión o sin ella. Fruto de su tiempo, explica tanto la propulsión con paletas como mediante hélices (con frecuencia denominadas «tornillos»).

De intención claramente didáctica, posee un amplio programa de ilustraciones de buena calidad, situados entre los dibujos técnicos genuinamente ochocentistas y visiones más «realistas» (sombreados...), más propios del Setecientos.

Dos décadas después apareció el *Curso de máquinas de vapor* debido a Gustavo FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ (1879)²⁴. Tras dos capítulos introductorios («Observaciones preliminares sobre el trabajo de las máquinas» e «Idea general del funcionamiento de las máquinas de vapor aplicadas a la propulsión de los barcos»), está dividido en cinco partes: 1) «Calderas de vapor» (6 caps.); 2) «Máquinas» (10 caps.); 3) «Propulsores» (3 caps.); 4) «Estudio a posteriori de la regulación de las máquinas. Cálculo del trabajo que las mismas desarrollan» (2 caps.); y 5) «Manejo y entretenimiento de máquinas y calderas» (7 caps.).

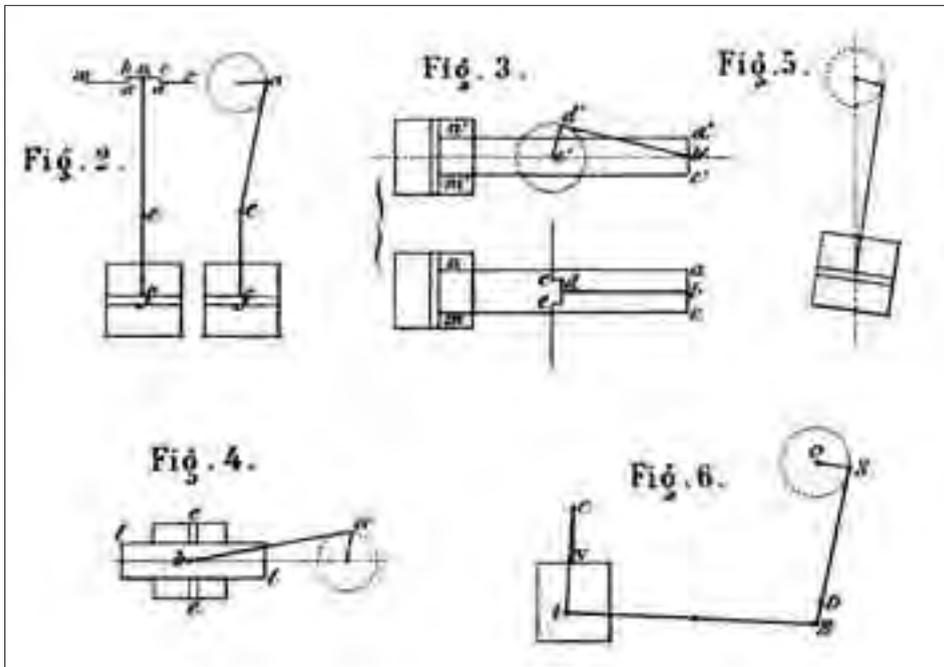
Es un texto que presenta con cierta profundidad las cuestiones técnicas relevantes, aunque sin cuantificar los aspectos térmicos (si bien se puede afirmar que la termodinámica es disciplina que en esas fechas está plenamente asentada)²⁵, ni tampoco los mecánicos (longitudes, fuerzas, etc.). No obstante, está redactado con claro espíritu crítico. Por ejemplo, en lo relativo a las máquinas, plantea las ventajas del uso del condensador, pero hace patentes sus costes (p. 20):

el empleo de la condensación origina la necesidad de usar ciertos órganos, que aumentando el coste y volumen de las máquinas, creando resistencias pasivas y obligando a distraer en la producción del movimiento de algunos de ellos parte del trabajo motor disminuyen la importancia de la ventaja acusada.

Son múltiples las reflexiones críticas a lo largo de la obra, entre otras cosas con respecto a las chaquetas de vapor al cilindro, que impiden la condensación en este; al mayor consumo de combustible por trabajo realizado necesario para aumentar la potencia (relacionado con el grado de expansión del vapor); o al vapor recalentado, explicitando los problemas de lubricación, pero señalando la economía de combustible que puede suponer el pasar por un intercambiador de calor los gases que de la caldera se envían a la atmósfera. En el ámbito de los distribuidores, sin entrar en detalles, introduce los «Corliss o de grifo», sistemas «constituidos de cuatro grifos, dos de ellos destinados a la admisión del vapor y los otros dos a permitir su evacuación», de los que afirma con cierta distancia que «empiezan a usarse» (p. 146).

²⁴ Ingeniero de la Armada, será inspector del Cuerpo. En 1906 fue elegido académico de la RACEFN. Del texto de 1879 habrá una segunda edición en 1888; a instancias de la Compañía Trasatlántica, para los aspirantes a su cuerpo de maquinistas, la revisa y la suplementa, lo que da lugar a otra edición en 1891. En 1877 había publicado *Lecciones de construcción naval escritas para uso de los aspirantes a guardias marinas* (Madrid, Fortanet).

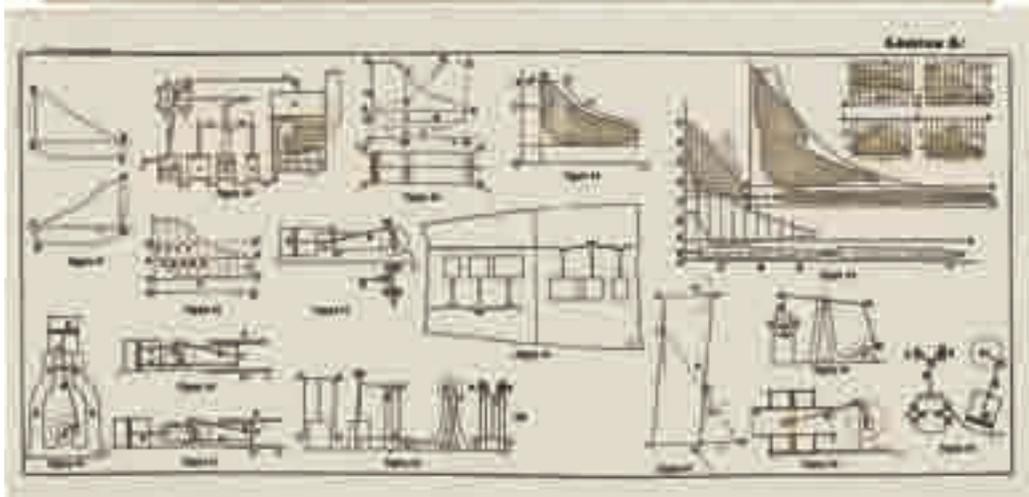
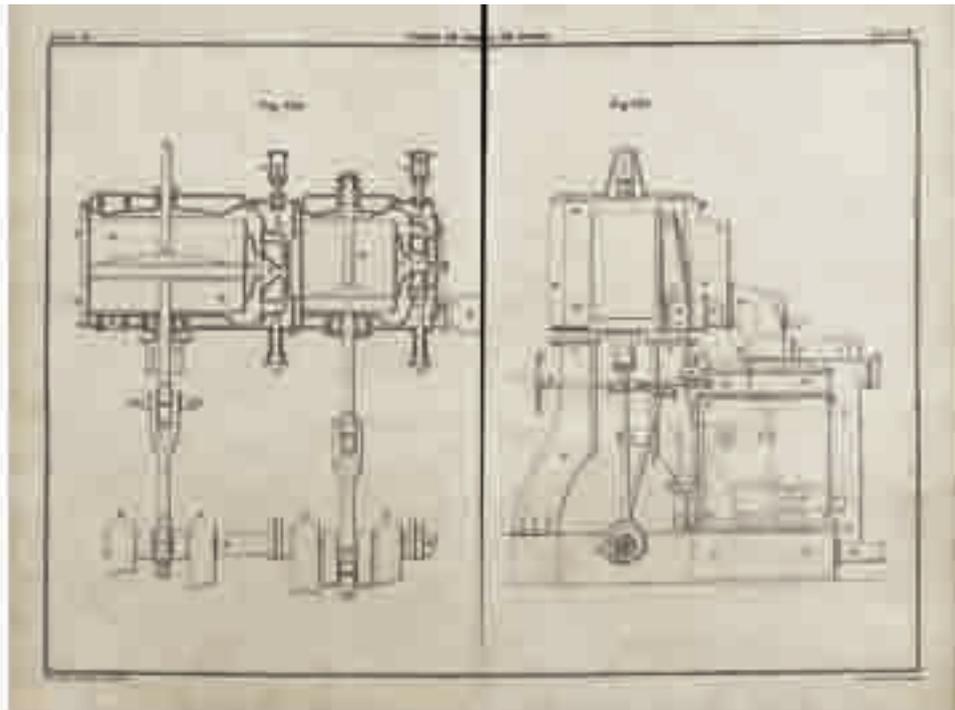
²⁵ Baste mencionar la obra de F. de P. ROJAS CABALLERO-INFANTE (1876), que se centra en su historia.



12.2. Esquemas de los mecanismos para la transmisión del movimiento del émbolo al eje propulsor o árbol (G. FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ, 1879, pp. 46 y ss.; Atlas, lám. 1): Fig. 2) De barra directa (varias máquinas en las ilustr. 12.8 y 12.13, por ejemplo); fig. 3) De barra invertida (fig. 115 en la ilustr. 12.1.2); fig. 4) De trunk (tronco) o émbolo anular; fig. 5) De cilindros oscilantes (fig. 55 en la ilustr. 12.3.2); fig. 6) De conexión indirecta. Obsérvese que ya no aparece el clásico esquema de máquina con balancín, sea superior (v. ilustr. 11.1, 12.1 y 12.6) o inferior-lateral (ilustr. 4.2.1).

De acuerdo con el mecanismo de «transmisión del movimiento del émbolo al eje del propulsor», que identifica como el más característico, clasifica y presenta las máquinas de barra directa, barra invertida, *trunk* o émbolo anular, cilindros oscilantes y conexión indirecta (fig. 12.2), taxonomía que completa con la división en máquinas simples (el vapor trabaja en un único cilindro) y compuestas (máquinas de alta y baja presión, máquinas del sistema Woolf)²⁶.

²⁶ Arthur Woolf (1803) hizo funcionar la expansión en dos etapas, en los cilindros denominados *de alta* y *de baja presión* (el segundo mayor, del volumen adecuado para contener el vapor que cabe en el de alta, pero a la presión baja). No obstante, el sistema solo sería realmente práctico tras las mejoras incorporadas por John McNaught (1845). La máquina Woolf es una máquina *compuesta* de conexión directa, es decir, sin depósito intermedio para el vapor entre los cilindros de alta y baja presión. J. MOKYR (*The lever of riches: technological creativity and economic progress*, Oxford University Press, 1990, p. 90) resume las mejoras de rendimiento afirmando que la máquina compuesta de Woolf elevó la eficacia del combustible al 7,5%, frente al 4,5% de las mejores de tipo Watt.



12.3. Láminas de los atlas correspondientes al Curso de máquinas de vapor de G. FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ (1879) y al Curso Teórico-práctico de máquinas de vapor de J. QUINTANA Y JUNCO y J. ORTIZ DE LA TORRE (1903): 1) «Máquina compuesta o del sistema Woolf». La ilustrada corresponde al género «de dos cilindros paralelos» (de idéntica longitud y diferente diámetro), más precisamente al tipo de «invertidas o de pilón» (los cilindros van montados en paralelo encima del eje de cigüeñales) con barra directa (para regularizar el movimiento y evitar puntos muertos actúan sobre el cigüeñal a 90°). D y K son los cilindros de alta y baja, y sus correderas son, respectivamente, J y L. Para coordinar los movimientos de los pistones, el vapor pasa del de alta al de baja a través de un depósito intermedio que permite introducir el retardo necesario. (En el atlas abundan secciones, detalles, esquemas y diagramas; en suma, las ilustraciones ya no son realistas. Litogr. Mateu, Recoletos, 4, Madrid; A. Olarte lo grabó); 2) Secciones, esquemas y diagramas diversos. La única vista no ortogonal (fig. 55) es para explicar la idea del cilindro oscilante. (La esquematización y el empleo de diagramas es casi exclusivo. Impr. El Siglo XX, Barcelona-Sans).

Partiendo de que una mayor presión de vapor lleva a mayor rendimiento, insiste peculiarmente sobre la menor seguridad, recomendando que no se pase de 5 o 6 atmósferas: «La garantía contra el peligro de que revienten [las calderas], está en razón inversa de la tensión de vapor que producen». Algo dramáticamente, llega a concluir que «nunca ha sido menos segura que ahora la navegación de vapor» (p. 56).

Resultan interesantes las reflexiones sobre ventajas e inconvenientes de las máquinas compuestas frente a las simples. Entre los inconvenientes de las primeras se encuentran la necesidad de trabajar con altas presiones²⁷, mayores condensaciones improductivas, mayor complejidad mecánica y de manejo, mayor volumen, peso y coste de la máquina, menor fiabilidad, sobre todo frente a dos o tres máquinas simples gemelas, etc. Además, para ganar potencia, en las máquinas simples existe la posibilidad de suprimir la expansión a voluntad. Entre las ventajas de las compuestas, economía de combustible y mayor regularidad de movimiento. En suma, un tanto sorpresivamente para el momento en que se dice, concluye que, en el estado de la técnica del momento, «no es fácil deslindar teóricamente con toda precisión cuál de los sistemas usados, el simple o el compuesto, merece la preferencia» (p. 262). Sin duda, el texto de Gustavo Fernández es una obra de referencia sobre el estudio de las máquinas de vapor (marinas) en España.

Recién vencido el siglo, los ingenieros navales José QUINTANA Y JUNCO y Joaquín ORTIZ DE LA TORRE (1903) publican su *Curso teórico-práctico de máquinas de vapor*. A diferencia de los otros textos para la Marina, este arranca proclamando la «Importancia de la Termodinámica», aunque atempera su entusiasmo científico:

Las máquinas térmicas, de las cuales son un caso particular las de vapor, tienen por finalidad principal convertir el calor en trabajo. En estas últimas, el agente que lleva el calor es el vapor de agua, y como el conocimiento perfecto de los fenómenos que se producen en las máquinas, debidos al empleo de este último, no es posible lograrlo sin un conocimiento previo de la termodinámica, vamos a estudiar ligeramente, por ser suficiente para el fin que ha de llenar este libro, los dos principios fundamentales de la misma, cuales son: el de la equivalencia entre el calor y el trabajo, y el de Carnot, recordando, de paso, algunas nociones de Física, que, aunque elementales y sabidas, han de facilitar grandemente el estudio de los dos principios citados.

A las bases de la termodinámica dedican tres capítulos (unas 26 páginas) más algunas consideraciones al respecto (hasta la página 69: diagramas teóricos, máquinas *compound*...). Nuevos tiempos, a diferencia de G. FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ (1879), se enfatizan las ventajas de las máquinas *compound*. De este modo, tras analizar sus inconvenientes, concluyen:

²⁷ Ello supone, además, mayor temperatura en el agua de las calderas. Por ejemplo, si se sobrepasan los 150 °C (tensión de vapor próxima a 5 atmósferas), el sulfato de cal se deposita, cristaliza y se aglomera «sobre las paredes de los generadores y de sus tubos, cuyos intervalos obstruye por completo todo el cloruro sódico que con tanta abundancia se encuentra en el mar» (p. 69).

Ninguno de los inconvenientes apuntados altera, sin embargo, la superioridad reconocida de las nuevas máquinas, a las cuales se ha debido, principalmente, el actual adelanto de la navegación a vapor (p. 53).

Otro hecho particular es que con frecuencia ilustran los conceptos con características de buques concretos modernos, la mayoría de la Armada²⁸. No obstante, al comparar los servomotores hidráulicos con los de vapor, afirman (p. 364):

Como en nuestra Armada no existe ningún ejemplo de servo-motor hidráulico ni es probable que se instale, pues estos han cedido ya su puesto a los eléctricos, que resultan más ventajosos, describiremos el Brown, que se encuentra instalado en el *Reina Cristina* de la Trasatlántica.

Esta última es una descripción de bajo nivel del mecanismo concreto; no una presentación conceptual en la que explícitamente se identifique el principio de alimentación. Por apuntar una novedad adicional, dedican el postrer capítulo a las «Turbinas Parsons», y mencionan motorizaciones de hasta 4.000 HP.

La comparación de los estilos gráficos de las ilustraciones de las cuatro obras presentadas (figs. 12.1 y 12.3) permite constatar la evolución desde dibujos predominantemente realistas, incluso sombreados, a esquemas técnicos de una gran claridad y precisión, en los que casi únicamente falta la acotación dimensional.

Como contrapunto final a esta selección de textos sobre máquinas de vapor desde la Armada, mencionamos la obra de Ramón ESTRADA y Antonio MAGAZ (1908), que considera *Motores marinos de combustión interna*. Es interesante señalar que el firmante del prólogo es Gustavo Fernández y Rodríguez, entonces inspector jefe del Cuerpo de Ingenieros de la Armada, autor de un texto sobre máquinas de vapor ya comentado (tiene otro similar de 1891). Plenamente inmerso en la primera década del siglo xx, el momento es juzgado por el prologuista como de inflexión (p. III):

No han podido nuestros autores elegir para objeto de su trabajo un asunto que, cual el estudio de los motores de explosión, brinde con mayor interés de actualidad; porque con ser relativamente modernos, ya que hasta 1860 no puede asegurarse que se inició la vida práctica con el tipo Lenoir de dos tiempos, y un año más tarde con el motor de cuatro tiempos, cuyo ciclo de trabajo definió con precisión el primero Beau de Rochas, es lo cierto que en el medio siglo escaso, desde entonces transcurrido, han alcanzado un desarrollo extraordinario, perfeccionándose, multiplicándose y prometiendo para lo sucesivo mucho más que las máquinas de vapor.

El balance de realidades y perspectivas de los motores de explosión es espectacular (p. v):

con especialidad en los alimentados por combustible líquido, se suprimen o se simplifican cuando menos los enojosos, frecuentes y difíciles rellenos de carboneras, se aumenta el radio de acción, desaparecen las calderas con todos los engorros que su

²⁸ Entre ellos, los cruceros *Alfonso XIII*, *Cisneros* o *Lepanto*, o el acorazado *Emperador Carlos V*. La MTM construyó todas sus motorizaciones.

funcionalismo reclama, se sanean los fondos y las cámaras de máquinas, quedan estas siempre aptas para ponerse en marcha sin necesidad de gastar combustible, ya para generar el agente motor antes de salir de puerto, ya para sostener la fuerza durante las paradas accidentales en el mar: todo lo cual, unido a los beneficios que antes apunté relativos al peso, espacio ocupado, sencillez de manejo y economía, demuestra cuán grande es la atención que merecen los motores de combustión interna.

Asentimos con la valoración del inspector jefe del Cuerpo, que juzga la obra de carácter didáctico, «excelente obra de vulgarización [...]. Con sobriedad, pero sin omitir nada esencial, clasifican los motores de gas, indican las condiciones de su ciclo de trabajo [...]» (p. vi). El punto de vista de los autores (p. 1) es que

la máquina de vapor, después de un siglo de constantes adelantos y perfeccionamientos, parece haber llegado á su apogeo. Con el uso de las altas presiones, del vapor recalentado y de las grandes expansiones, se ha conseguido para ella un rendimiento térmico que es ya muy difícil de superar, en cantidades apreciables por lo menos, y con las modernas máquinas de turbinas se ha llevado su eficiencia mecánica al verdadero límite.

Dadas las ventajas que aporta la combustión en el mismo cilindro motor (*i. e.*, interna), señalan una sinergia —no siempre cierta— que es símbolo de modernidad, pero que incomprensiblemente no se dará en España (p. 2):

Los mismos grandes constructores, los que más han contribuido a los progresos del motor de vapor, han sido los primeros en aceptar el motor de combustión interna facilitando esta evolución y, con sin igual audacia, con una persistencia merecedora del éxito, han venido ayudando a los inventores, y han luchado para imponer el nuevo motor, a pesar de las hostiles e infundadas aprensiones de algunos técnicos.

No entraremos en el análisis de contenidos. Más bien importa resaltar que el último capítulo es dedicado a la «Comparación entre las máquinas de vapor y las de combustión interna», y se subraya que tanto el rendimiento teórico (debido al mucho mayor salto térmico) como el efectivo (a pesar de las pérdidas de calor) son muy superiores en las máquinas de combustión interna. Reconociendo la existencia de «márgenes de perfeccionamiento en el rendimiento», aventuran que un «día, quizás no lejano, la máquina de vapor habrá muerto».

Máquina	Calor proporcionado a la máquina	Potencia indicada*	Trabajo efectivo
<i>Máquina de gas</i>	80 (90) % (gasógeno)	26,4%	23,8%
<i>Turbina de vapor</i>	70 % (caldera)	14,0%	13,0%
<i>Máquina de vapor de cilindros</i>	70% (caldera)	12,0%	11,0%

Cuadro 12.1. Comparación de rendimientos totales debida al ingeniero de la Crossley Arthur VENNELL COSTER («Marine gas propulsion in relation to imperial commerce and defence», *The Engineer*, February 15, 1907). (Fuente: R. ESTRADA Y A. MAGAZ, 1908, p. 345). [*Potencia disponible en el émbolo, experimentalmente medida con el indicador de presiones, instrumento originalmente diseñado por Watt].

En suma, los textos hasta aquí considerados, aunque de carácter esencialmente descriptivo y de aplicación, demuestran en sus autores conocimientos que integran la literatura producida en el ámbito internacional y abundantes experiencias personales. En su conjunto siguen con gran dignidad y acotado retraso la evolución del dominio.

II.2. *Textos de máquinas térmicas y termodinámica*

Se puede afirmar que, mediado el siglo, la termodinámica está asentada como disciplina científica, y sus dos primeros principios no solo están correctamente enunciados, sino que son sobradamente conocidos²⁹. En este sentido, frente a un concepto más o menos elaborado de manual descriptivo y de uso que preside los textos de la sección anterior, aquí la idea es utilizar los conocimientos termodinámicos como —incompleto— hilo conductor. En esencia limitamos nuestra presentación a dos textos. De expresivos títulos ambos, el primero, *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y de gas con arreglo a la termodinámica*, de Gumersindo de VICUÑA, vio la luz en 1872.

Ingeniero industrial y catedrático de Física Matemática de la Universidad Central, Vicuña³⁰ explicita en el prólogo su intención (p. 5):

No es nuestro ánimo publicar un tratado completo de las máquinas de vapor y de gas, incluyendo su descripción detallada, construcción y reparación, sino dar una idea clara y metódica de su teoría, en conformidad con la novísima ciencia llamada Termodinámica. Nuestra obra es, por lo tanto, especulativa y no práctica, en la acepción ordinaria de estas palabras, y exige por parte de nuestros lectores algunos conocimientos relativos a la descripción de las máquinas de vapor, bastando los que se encuentran en los libros elementales de Física.

Aun reconociendo que en realidad se dimensionan los motores «sirviéndose de ciertos datos prácticos que se han reconocido como buenos por los ingenieros y constructores», afirma (p. 6):

No es suficiente [...] que el ingeniero sepa dirigir una máquina; es preciso que conozca su teoría. [...] Solo el que tenga ideas exactas del modo de operar el fluido motor, podrá perfeccionar una máquina en que este funcione. [...] El ingeniero debe saber no solo su anatomía sino también su fisiología, si aspira legítimamente al conocimiento completo del motor universal de nuestra época.

Excusándose por el uso del cálculo diferencial e integral, que confiesa retraerá la lectura, e identificando sus principales fuentes³¹, suplica (p. 8)

²⁹ Para una perspectiva decimonónica consúltese el citado texto del ingeniero industrial F. de P. ROJAS (1876). Véase, también, el próximo capítulo en este volumen.

³⁰ Entre 1880 y 1884 presidirá la Asociación Nacional de Ingenieros Industriales y en 1883 será elegido miembro de la RACEFN.

³¹ G. ZEUNER (*Théorie mécanique de la chaleur: avec ses applications aux machines*, 1869, 2.^a ed.) y Ch. BRIOT (*Théorie mécanique de la chaleur*, 1869), principalmente. También, A. CAZIN (*La chaleur*, 1866), É. VERDET (*Théorie mécanique de la chaleur*, 1868) —publicado por M. M. Prudhon et Violle—, J. ECHGARAY (*Tratado elemental de termodinámica*, 1868) y P. SAINT-ROBERT (*Principes de thermodynamique*, 1870, 2.^a ed.), además de otros diversos de Gustav-Adolphe Hirn o William J. M. Rankine.

la indulgencia de nuestros lectores, por la brevedad con que hemos tratado algunas cuestiones, en gracia a la novedad de este estudio en nuestra patria y aun en el extranjero. Nuestro único propósito es iniciar en España la nueva teoría de las máquinas de vapor, esperando que personas de mayor competencia escriban tratados más completos y perfectos, ya con sus propias investigaciones, ya dando cuenta, como nosotros lo hemos hecho, de las debidas a los físicos e ingenieros alemanes e ingleses, reflejadas frecuentemente en los autores franceses.

Expone con sencillez la teoría de las máquinas térmicas. Se apoya a veces en la experiencia (que no parece ser propia), e insiste en el concepto de *ciclo* y su posible optimalidad, de acuerdo con Sadi Carnot y seguidores como Clapeyron (y sus diagramas P - V , donde las isothermas, $P \times V = \text{cte.}$, son hipérbolas), Thompson o Clausius. Presenta las leyes de Mariotte, Gay-Lussac y Clapeyron, para llegar al concepto de *rendimiento económico* (en otros textos, *rendimiento calorífico* o *coeficiente económico*), relación entre el calor que se transforma en trabajo, $Q_s - Q_p$, y el que toma del foco superior, Q_s . El resultado es $(Q_s - Q_p) / Q_s = (T_s - T_p) / T_s$, concluyendo (p. 67):

De aquí deducimos que en una máquina térmica conviene aumentar el *desnivel de temperatura* de ambos focos, y que de él depende, en primer lugar, el rendimiento de la máquina. De aquí la ventaja teórica de las máquinas de aire caliente en que la temperatura de este es muy crecida al entrar en el cilindro, sobre las de vapor, cuando este no está recalentado.

Notemos que este principio es aplicable a todas las máquinas térmicas [...]. Esta indicación echa por tierra diversas preocupaciones relativas al empleo de gases o vapores especiales, puesto que el trabajo solo depende de esta diferencia de temperatura.

Matiza que en las máquinas de gases es posible hallar «otros infinitos ciclos que den este efecto útil máximo» y compara el rendimiento teórico máximo con el de los motores hidráulicos. Pero, en definitiva, el rendimiento real será bastante menor (se ha de computar el rendimiento de la caldera, las pérdidas en radiaciones, etc.). Tras analizar los ciclos de Ericsson (isobaras e isothermas) o de Stirling (isocoras e isothermas), reproduce la presentación en *La Gaceta Industrial* (1868, p. 282) de la «máquina del español Reinlein», al que califica de «distinguido oficial de Artillería». Posteriormente pasa a las máquinas de combustión de gas (de explosión), donde habla de la máquina de Lenoir, de su interés y sus deficiencias prácticas; sin embargo, no habla de la patente del motor de cuatro tiempos de Beau de Rochas (de 1862), lo que es comprensible, pues en su momento pasó prácticamente desapercibida.

El estudio de las máquinas de vapor lo hace progresivamente, a partir del modelo teórico básico, enriqueciéndolo con rasgos de máquinas reales. Entre otros aspectos, incorpora el trabajo consumido por algunas bombas o la completitud de la expansión³². Para 8 atmósferas de presión, «límite del cual no es prudente pasar», y

³² En una expansión incompleta el vapor sale al condensador con una presión superior a la de este, por lo que se pierde efecto útil. Otras pérdidas, no consideradas, son las debidas al ajuste del émbolo o a las caídas de presión entre la caldera y el cilindro, por ejemplo.



12.4. Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y de gas con arreglo a la termodinámica, de Gumersindo de Vicuña (1872b): 1) Portada; 2) La «máquina del español Reinlein». Es modificación de la «calórica» de Ericsson, de la que Vicuña, en *Motores empleados en la industria*, vol. III: Motores diversos (1872a, pp. 36-37), afirma que «se ha construido en Barcelona alguna [...], pero no conocemos los datos prácticos relativos a ensayos continuados sobre estas máquinas». Esperando mejorar sensiblemente el rendimiento, está dispuesta verticalmente, con el hornillo en el centro y algunos cambios en la disposición de las válvulas.

condensación a 1/7 de atmósfera (temperaturas entre 170,8 °C y 50 °C) obtiene un coeficiente económico teórico del 27,2%, que corregido con los términos mencionados queda en el 17,7%. Argumentando la limitación del volumen del cilindro único, introduce las máquinas de dos cilindros en serie (tipo Woolf). Al comparar las de plena presión con las de expansión variable, concluye «la poca importancia que hay en seguir o no el ciclo teórico de Carnot; pero la grande de aprovechar la expansión y de hacerla lo más extensa posible» (p. 104).

La consideración de vapor seco en todo el trayecto, de diversos vapores simultáneamente, o del vapor recalentado (que recomienda no subir de 240 °C, so pena de estropear las uniones y estopas) le lleva a un expresivo cuadro comparativo. A pesar del interés de la condensación, apunta que tanto las locomotoras como las máquinas locomóviles (también con frecuencia las semifijas)³³ carecen de condensador, por lo

³³ El discurso no se centra ahora en las máquinas marinas, sino en las industriales. Se denominan *máquinas fijas* a las que tienen caldera independiente, que se alimentan por medio de un *tubo de*

que para mantener coeficientes económicos razonables es norma aumentar la presión. El análisis realizado lo emplea para orientar la elección del tipo de máquinas.

COMPARACIÓN DE LOS COEFICIENTES ECONÓMICOS.

Tipos de Máquinas.	Limitaciones del vapor de agua a 8 atm. de presión usual.	Coefficiente.
1. Ideal. . .	Saturado, seco, según ciclo Carnot. . .	0,272
2. Teórica. .	Idem, id., expansión completa a $1/2$ atm. . .	0,246
3. Idem. . .	Idem, con 0,20 de líquido, id. . .	0,241
4. Práctica. .	Idem, seco, expansión incompleta a 1,5 atmósferas. . .	0,177
5. Idem. . .	Idem, id., expansión nula. . .	0,066
6. Ideal. . .	Idem, id., sin condensación, ciclo Carnot. . .	0,159
7. Teórica. .	Idem, constantemente seco, expansión completa, con vapor utilizable. . .	0,233
8. Idem. . .	Idem, id., id., con vapor perdido. . .	0,170
9. Práctica. .	Idem, id., expansión incompleta a 1,5 atmósferas, con vapor utilizable. . .	0,148
10. Idem. . .	Idem, id., id., con vapor perdido. . .	0,178
11. Ideal. . .	Idem, seco, y el de estar condensado a 10° , ciclo Carnot. . .	0,362
12. Idem. . .	Recalentado a 210° , ciclo Carnot. . .	0,370
13. Teórica. .	Idem, expansión completa, con vapor utilizable. . .	0,351
14. Idem. . .	Idem, id., con vapor perdido. . .	0,303

Cuadro 12.2. «Comparación de los coeficientes económicos». Según G. de VICUÑA (1872b), los tipos 1, 6, 11 y 12 no son realizables, y los tipos 7-8-9-10 tienen camisa de Watt. En todos, excepto en el 6, se asume un condensador.

Con posterioridad, Vicuña aborda sucintamente el cálculo de aparatos accesorios. Tiene capítulos dedicados a los tubos de conducción, la alimentación de la caldera, la condensación del vapor, la distribución del vapor³⁴, el empleo del contrava-

vapor (tanto la caldera como la máquina requieren una instalación más o menos costosa). Las máquinas *locomóviles*, que en esos momentos se extienden progresivamente en el mundo de la agricultura o en el de las obras de construcción, van montadas sobre ruedas y forman un solo cuerpo con la caldera. No necesitan trabajos ni obras de ninguna especie para su instalación y pueden ser transportadas de un punto a otro con gran facilidad (J. ALCOVER, 1871, p. 36). Normalmente, una máquina semifija «lo está sobre unos soportes o caballetes de hierro que se fijan al suelo por medio de tornillos. Esta disposición es la que se adopta generalmente cuando [...] [hay] que trasladarlas con frecuencia de un punto a otro, lo que puede hacerse también sin necesidad de desmontarla ni de hacer obra alguna» (J. ALCOVER, 1971, p. 38).

³⁴ Sistema que permite «automáticamente que el fluido obre en la cara conveniente del émbolo, y salga o entre en el cilindro cuando sea necesario». Distingue la marcha ordinaria y a contra-vapor, para «reposar en breves instantes una máquina fija, o para detener la marcha del tren en las locomotoras o parar el buque en las marinas». Declara que se limita a la «distribución por corredera aplicada a máquinas de expansión variable, sistema el más común y el único que se usa en las locomotoras» (p. 150). En este sentido, llama la atención que en 1872 no se ocupe del sistema Corliss,

por en las locomotoras y, finalmente, la transmisión del trabajo («capítulo [que] es, en su mayor parte, independiente de la aplicación de la teoría mecánica del calor», una presentación simplificada de los mecanismos de conexión y su dinámica).

Los *Principios fundamentales de la termodinámica: aplicación a los gases y al vapor de agua. Rendimientos de los motores térmicos* del capitán de Artillería Carlos SÁNCHEZ PASTORFIDO (1905) tienen un objetivo análogo al del libro de Vicuña, pero dedica monográficamente el capítulo terminal a la definición y evaluación de rendimientos varios. En el prólogo declara que (p. v)

el objeto de esta obra no es otro que el exponer los conocimientos indispensables de Termodinámica, para la inteligencia completa de la teoría de las máquinas térmicas [...], la expresión general del coeficiente económico de una máquina y su valor máximo en el caso de un ciclo de Carnot; cuestión esta última de importancia grandísima, por marcar el límite que se encuentra para el aprovechamiento del calor en las máquinas térmicas. [...] como complemento se trata de los rendimientos tomando en cuenta las diferentes pérdidas de energía, para poder apreciar la mayor o menor bondad de una máquina térmica [...] para comparar los resultados que expresan el grado de aprovechamiento del calor conseguido en cada caso.

Como es clásico en este tipo de textos, al considerar la máquina de vapor el autor insiste en la importancia de las grandes presiones y del condensador, o en el empleo del vapor recalentado, indicando que no se puede pasar de los 280 °C. Para datos de temperaturas que son asumibles en la época, presenta una tabla en la que interesa el posicionamiento relativo de los tres tipos de máquinas.

MÁQUINAS	Ciclo de Carnot	Real
De vapor de agua.....	0,30	0,10
De aire caliente.....	0,18	0,11
De explosión.....	0,25	0,20

Cuadro 12.3. Valores medios del coeficiente económico, admitido para las máquinas térmicas (C. SÁNCHEZ PASTORFIDO, 1905, p. 68): «El ciclo de Carnot es un ciclo ficticio e ideal de imposible realización; cada tipo de máquina tiene su ciclo teórico, que en la práctica tampoco se realiza perfectamente, pues diferentes causas ocasionan imperfecciones en el ciclo y así resulta el ciclo real, que es el diagrama obtenido con el aparato indicador de presiones» (Aunque no representan exactamente lo mismo, compárese con el cuadro 12.1, trabajo muy próximo en el tiempo).

que ya tenía dos décadas cumplidas, pero ello prueba que le interesa más la aplicabilidad de la termodinámica que las máquinas de vapor en sí. Esta conclusión la hace patente cuando omite los necesarios cálculos geométricos, pues, en su opinión, «solo interesa conocer sus resultados con objeto de aplicar la termodinámica a la distribución del vapor» (p. 157). Tampoco cita Vicuña un trabajo muy técnico de F. de PAULA ROJAS, *Estudio completo de la distribución en las máquinas de vapor de expansión fija, por medio de la válvula de corredera, con aplicación a todos los problemas que sobre la distribución ocurren en los talleres de construcción, de montaje y de ajuste*. Publicado inicialmente en Valencia en 1863, fue editado en varias ocasiones, incluso hasta en 1892, en *Naturaleza, Ciencia e Industria*, t. III, n.º 34 y siguientes. Según Rojas, la distribución del vapor es «la parte más difícil, más importante y más transcendental de las máquinas de vapor» (p. 7).

Justamente dedica el capítulo final, «Rendimiento de las máquinas térmicas», a la evaluación de la bondad de las máquinas, sobre la base de diversos índices de rendimiento. Además del *coeficiente económico* o *rendimiento teórico*, considera:

- el *rendimiento específico* o *genérico*, que caracteriza a la clase de máquinas, definido como la relación entre el trabajo que produce y el que produciría una máquina de Carnot (típicamente, del 60%);
- la *utilización del combustible*, porcentaje del calor tomado al foco por el fluido intermedio;
- el *rendimiento orgánico* o *mecánico*, relación entre el trabajo utilizable, medido en el árbol motor con el freno de Prony, y el disponible en el émbolo, medido con el indicador (originalmente de Watt). Depende del género de máquina: si tiene o no condensador, si emplea o no expansión, si es mono o multicilíndrica, etc. (típicamente, entre 0,8 y 0,92, si está bien construida);
- el *rendimiento práctico*, trabajo efectivamente proporcionado como útil, medido al freno en el árbol del motor y por ciclo frente al trabajo máximo, según Carnot; y
- el *rendimiento industrial*, gasto de combustible por hora y por CV medido en el árbol del motor (acota que las mejores máquinas de vapor consumen por lo menos un kilogramo de carbón por hora y por CV, enérgicamente del orden del 8,5%).

Desafortunadamente, da la impresión de que los datos experimentales que ofrece Pastorfido, como Vicuña, son tomados de otras fuentes, no de experiencias propias, aunque es evidente su interés por medir la calidad de los diferentes tipos de máquinas. Escrito tres décadas y media después del redactado por el ingeniero industrial, el conjunto de referencias que cita el artillero es más amplio y totalmente renovado³⁵. Excepto Carnot, los pioneros ya no son referencia directa; han quedado para la historia.

Los textos de la sección anterior fueron preparados para guardiamarinas o maquinistas de la Armada. Los dos de esta fueron escritos para ingenieros (básicamente industriales) y cadetes de Artillería. Para terminar, apuntamos una obra redactada para «peritos» u obreros especializados, pensada para los alumnos de las escuelas de Artes e Industrias, tan pujantes desde el final del siglo XIX. En este sentido la monografía *Máquinas de vapor*, del ingeniero industrial (ESII de Barcelona, 1903) Juan ROSICH Y RUBIERA (1908), es un excelente representante, casi un epítome de este tipo de literatura. Bien organizada y de gran claridad expositiva, está estructurada por el catedrático de motores de la Escuela de Artes e Industrias de Barcelona en tres partes: «Generadores de vapor» (cap. I), «Termodinámica» (cap. II) y «Máquinas de vapor» (caps. III a VII). El capítulo de «Termodinámica» repasa sucintamente el primer principio o de Mayer, las transforma-

³⁵ Entre ellas, *Thermodynamique à l'usage des ingénieurs*, de Aimé WITZ (1899, 2.^a ed.), y *Traité de la machine à vapeur*, de Robert H. THURSTON (1893).

ciones de cuerpos y representaciones gráficas, el estudio de los gases y vapores de agua, el segundo principio o de Carnot y la teoría de las máquinas de vapor. De la parte dedicada a las máquinas destacan cuestiones como la distribución del vapor o la regulación del movimiento, pero no se habla del cálculo mecánico de las máquinas. Signo de los tiempos, el último capítulo versa sobre los turbomotores.

II.3. *Otras monografías*

La trilogía sobre *Motores empleados en la industria* es idea del ingeniero industrial José Alcover y Sallent, fundador en 1865 de la revista técnica *La Gaceta Industrial*, sin lugar a dudas una de las más importantes de la España del siglo XIX. Director y propietario hasta 1891, en ella escribió más de trescientos artículos. En el primer volumen (J. ALCOVER, 1871), monografía sobre las *Máquinas de vapor*, el autor declara su intención de dar a luz «pequeños tratados o manuales prácticos de las industrias más importantes establecidas o que puedan establecerse» (p. 3), demostrando su conocimiento de los principios y del sector, en parte fundamentado en su previo ejercicio como representante en España de algunas empresas extranjeras de maquinaria. Si bien el segundo volumen lo dedica Gumersindo de Vicuña a los *Motores hidráulicos*, en el tercero, *Motores diversos*, se consideran de nuevo máquinas térmicas, en particular las de gas calentado, las de combustión y las de vapores recalentados y de vapores diversos (G. de VICUÑA, 1872a).

Tras una breve reseña histórica, Alcover presenta los generadores de vapor (tipos, problemas de seguridad, etc.), así como los principales tipos de máquinas (fijas, semifijas, locomóviles, de alta-media y baja presión³⁶, horizontales y verticales³⁷, etc.). A continuación dedica particular atención a un tema de relevancia en el mundo de la industria como son las máquinas semifijas y las locomóviles, comentando sus ventajas e inconvenientes. Termina con la consideración de las aplicaciones más relevantes (máquinas especiales, de locomotoras, marinas, etc.), capítulo que va precedido por otro sobre el manejo y el mantenimiento de las mismas.

Al hablar de las máquinas de expansión, refleja que «el efecto producido por una misma cantidad de vapor aumenta considerablemente con la expansión [...], [de donde] la enorme economía de combustible» (pp. 29 y 30). Así, llamando 1 al consu-

³⁶ Caracteriza como de baja hasta 2 atmósferas; de media, hasta 4.

³⁷ Clasificación según la disposición del cilindro. Las horizontales presentan gran estabilidad, por lo que no suelen tener grandes problemas de trepidación y admiten velocidades relativamente importantes para el émbolo; sin embargo, por efecto de la gravedad y los rozamientos, los cilindros tienden a ovalizarse. Si la caldera también está dispuesta horizontalmente, ocupan mayor superficie. En las máquinas verticales la gravedad introduce cierta asimetría en las carreras ascendentes frente a las descendentes. Entre las verticales están las de balancín. Si caldera y cilindro van en vertical, se les llega a denominar *de pilón*, y ocupan un espacio particularmente reducido (son de las más empleadas para pequeñas potencias). También existen máquinas con cilindro vertical y caldera horizontal (en p. 42), o lo inverso (v. C. CAMPS ARMET, 1889, vol. V, p. 50).

mo a plena presión, cuando la expansión es a 1/3 de la carrera, el coeficiente de economía lo evalúa en 2,1 (a 1/7 de carrera, coeficiente 2,95). En cuanto a las máquinas de alta presión, apunta que (p. 32)

tienen a su favor la sencillez, pues casi puede decirse que está reducida a un cilindro y a la biela, y el poco espacio que ocupa; circunstancia que unida a su coste, que es mucho menor, y mucho menos costosa también su instalación, hace que en un gran número de casos, y sobre todo cuando se trata de fuerzas [sic] que no sean muy considerables, se adopten con preferencia a las máquinas de condensación. La diferencia, sin embargo, en el gasto de combustible es muy considerable.

En efecto, no bajando generalmente de 4 kilogramos de combustible por CV y por hora en las de alta presión sin condensador, en esa época en las máquinas con condensador se consume, normalmente, alrededor de un tercio (entre 1,1 y 1,79, para diversas máquinas que menciona de la Exposición Universal de París de 1867).

El capítulo v lo dedica a las máquinas locomóviles³⁸ y semifijas, que compara con las fijas, más económicas en combustible (por el condensador), más duraderas, menos expuestas a averías³⁹ y que permiten potencias muy superiores a los 10-12 CV (en casos especiales, máximo 30 CV) de las locomóviles. También aborda cuestiones relativas al manejo y al mantenimiento, los combustibles apropiados (hulla y leña, especialmente) o las aplicaciones principales.

Dado que en la mayoría de los casos se requiere un movimiento directamente de rotación, apunta el interés de las *máquinas rotativas de vapor* (p. 69), ya que evitan los movimientos alternativos (fuente de sacudidas, existencia de puntos muertos, pérdidas de rendimiento, etc.). No obstante, reconoce la ausencia del esperado éxito hasta el momento (p. 69)⁴⁰:

La *máquina rotativa*, en toda su sencillez, está reducida a un tubo cilíndrico en que se mueve un pistón que gira alrededor del eje del cilindro, dividido este en dos capacidades; y comunicando una de ellas con el generador, y la otra con el condensador, la presión del vapor ejercida sobre el pistón producirá un movimiento circular, que será continuo, si la separación de las capacidades puede desaparecer un instante para dejar paso el pistón.

Pese a su atractivo principio, las máquinas de vapor rotativas —sobre las que volveremos en la sección 12.III.3— no llegarán a superar a las alternativas, que finalmente serán desbancadas por las turbinas de vapor y las máquinas de combustión interna.

³⁸ «Las de resultados prácticos solo fueron conocidas hace veinte años en la Exposición universal de 1851 en Londres [...] [pero] hoy no dejan nada que desear» (p. 37).

³⁹ Se pronuncia en contra de la costumbre de montar la máquina locomóvil «directamente sobre la caldera, formando un solo cuerpo, disposición sencilla, pero viciosa, porque la caldera no puede menos que sufrir el efecto de los choques y trepidaciones producidos por el movimiento de la máquina [...] [así como] la temperatura elevada que alcanzan los órganos de la máquina, lo que dificulta la operación del engrasado, pues el aceite se seca» (pp. 39 y 40).

⁴⁰ Sorprende que no mencione el privilegio real (1858) del maquinista madrileño Valentín Silvestre Fombuena (fig. 12.14.1).

En su conjunto es una muy breve perspectiva del dominio, bien redactada, pero de carácter realmente elemental, basada en gran parte en tratados franceses. En particular, para una visión mucho más detallada se refiere explícitamente al de Ainé ARMENGAUD (1861 y 1862)⁴¹, obra de más de 1.250 páginas, frente a las cerca de 80 del texto de Alcover. En *Motores diversos* (VICUÑA, 1972a), complementario de este primer volumen, se presentan los motores de gas calentado (cap. III), Stirling y Ericsson, concediendo especial atención a la «Máquina del español Reinlein», objeto de patente de invención y sobre la que volveremos (fig. 12.4.2). El capítulo IV se centra en los motores de combustión, en particular los de los sistemas Lenoir, Hugon y Otto-Langen. También menciona el potencial interés de cuestiones como el empleo de vapor de agua recalentado, el de otros vapores (ácido carbónico) o el de varios vapores, por ejemplo. Con ello, Vicuña demuestra estar al día de las tendencias más actuales, aunque el tratamiento es claramente de simple divulgación.

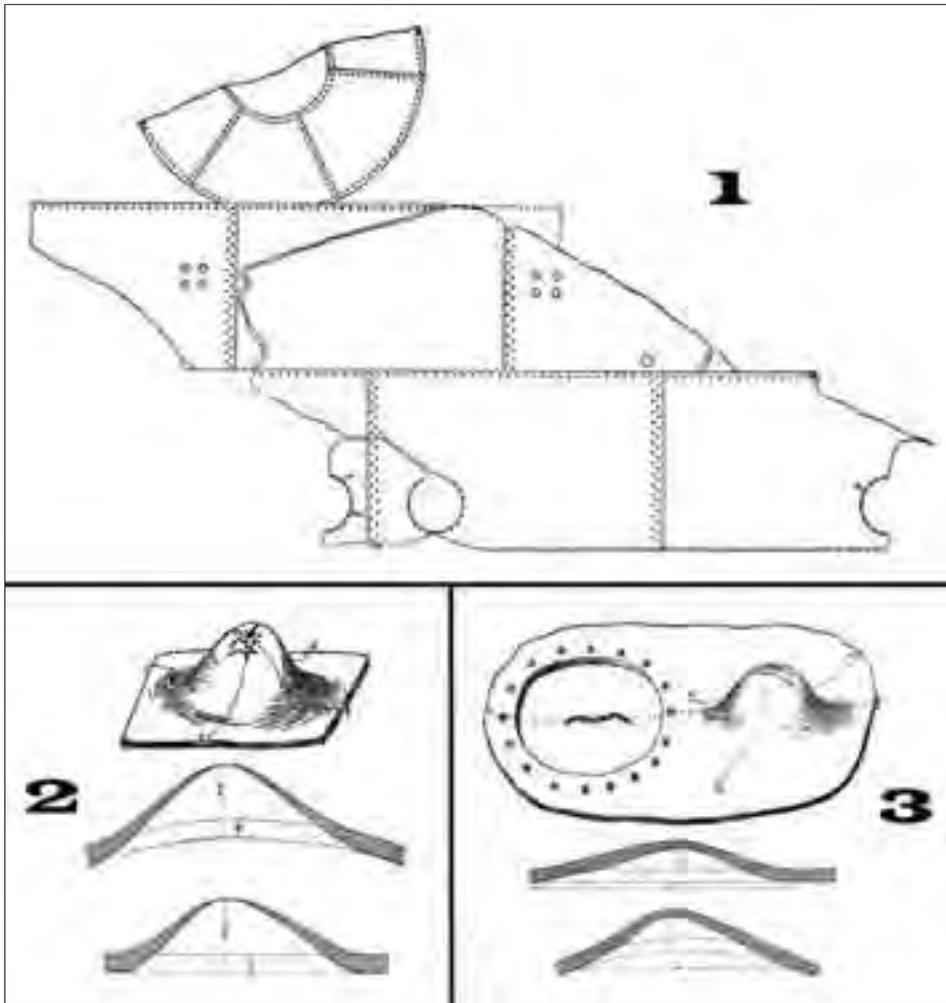
Prácticamente no hay obra escrita por constructores hispanos, para empezar porque estos fueron relativamente pocos, y modesto su nivel de innovación. La única que conocemos, en cierto modo marginal, es la de Juan A. MOLINAS (1886) sobre *El indicador de presiones y sus aplicaciones*. En este opúsculo, el ingeniero jefe de Construcciones de Máquinas Marinas de La MTM⁴² vierte una reducida parte de su experiencia. Se trata de un manual sencillito y eminentemente práctico dedicado al instrumento en su origen creado por Watt, sobre el que se hicieron numerosas mejoras a lo largo del siglo XIX y cuyo objetivo principal es «el estudio interior o fisiológico de los aparatos llamados de vapor, de agua y de gas» (p. 9). En otros términos, servía para evaluar experimentalmente la potencia de las máquinas térmicas e investigar sus condiciones de funcionamiento.

Premiado en un concurso de la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona en 1893, el texto de Guillermo J. de GUILLÉN GARCÍA⁴³ (1895) es prueba del interés

⁴¹ *Traité théorique et pratique des moteurs à vapeur* (2 tomos de texto y 2 de grabados; París, t. I, chez l'auteur, 1861; t. II, A. Morel et C.^{ie}, 1862). Sus «nociones preliminares de física y de mecánica aplicadas al estudio del vapor» se reducen a propiedades físicas, capacidad calorífica, fuentes del calor (combustibles) y propiedades mecánicas del calor, *sin mención* alguna a los principios termodinámicos. Sin llegar a ser una obra que se centre en la construcción de máquinas, presenta muchos ejemplos de equipos franceses comercializados.

⁴² Ingeniero industrial (Barcelona, 1865), fue autor de diversos textos técnicos. Presidió la Asociación de Maquinistas Navales (fundada en 1878) y también la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona (1881-1882). Experto mecánico reconocido por el Bureau Veritas, presidió la sección politécnica del Fomento del Trabajo Nacional. La Asociación de Maquinistas de La Habana le nombró socio honorario.

⁴³ Ingeniero industrial (Barcelona, 1868), fue escritor prolífico con centros de interés muy dispersos. Tiene obras de diversos ámbitos, desde profesionales (principalmente en el industrial y en el agrónomo) hasta de investigación histórica. Vicepresidente de la Asociación de Ingenieros Industriales de Barcelona y director de la *Revista Tecnológico-Industrial*, fue individuo de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona y correspondiente de la Real Academia de la Historia.



12.5. Explosiones de generadores de vapor, de Guillermo J. de GUILLÉN GARCÍA (1895):

1) «Trozo de un generador de vapor de los que explotaron en Barcelona hace pocos años», p. 186; 2) «Plancha de acero abollada por efecto de haberse enrojecido, al parecer por sedimentos de incrustación. Cortes de la misma», p. 247; 3) «Aspecto de una plancha que se ha enrojecido y abollado. Siendo el metal de calidad mediana se ha rajado. Cortes en la misma viéndose la raja en uno de ellos», p. 248.

práctico que suscitaban las *Explosiones de generadores de vapor*. Obviamente, no se trata de un texto específico sobre máquinas de vapor, pero el tema es de una importancia y complementariedad tal que conviene reseñarlo. Bastante actualizado y bien estructurado, presenta datos estadísticos sobre accidentes ocurridos en varios países y épocas, poniendo de relieve las consecuencias. Dividido en dos partes, la primera examina las causas que pueden llevar a explosiones, así como los medios preventivos

para evitarlas⁴⁴, y expone además diversas técnicas que pueden ser utilizadas para incrementar la potencia de las máquinas sin comprometer la seguridad. En la segunda parte, «Trabajos que debe practicar el ingeniero forense», incluye métodos de análisis físico-químicos sobre las chapas deterioradas, entre otros temas. Termina abogando por el interés de las sociedades de generadores de vapor, como las existentes en Reino Unido, Francia o Alemania, a las que califica como *de vigilancia*, instrumentos de política industrial. Ciertamente, un texto interesante que, mucho más allá de los principios termodinámicos, considera la necesaria confluencia de saberes en el mundo del diseño y operación de los generadores y las máquinas de vapor⁴⁵.

De un registro muy diferente a los dos textos anteriores es el pequeño manual del ingeniero de caminos José M.^a SAINZ (1906): *Gasógenos y motores de combustión*. Partiendo del gran número de instalaciones de estos tipos de motores en España, está escrito pensando en los montadores de instalaciones y en los alumnos de las escuelas de Artes y Oficios. De carácter eminentemente divulgativo, en él se advierte que «no encontrarán los Ingenieros nada nuevo que no esté en los [textos] de Witz, Güldner, Deschamps, etc., y en los numerosos folletos y monografías publicados en los últimos años, que tratan de la materia» (p. xi). No obstante, el catálogo de motores concretos que se presenta no contempla realizaciones de los talleres hispanos, salvo los Winterthur fabricados bajo licencia por La MTM (50 a 110 CV). Junto a aspectos didácticos, quizás primaran cuestiones como las redes de comercialización y atención al cliente a lo largo y ancho del solar nacional entre los criterios electivos. La consideración de unas breves nociones sobre la termodinámica se hace en una suerte de anexo (en realidad, el cap. xxv), tratamiento análogo al que reciben los combustibles, los conceptos básicos de la mecánica práctica o la resistencia de materiales, entre otros muchos temas que se apuntan. En lo concerniente a los gasógenos se hace eco de la mayor contribución hispana en el dominio: los gasógenos de aspiración, debidos al reverendo Jaime Arbós, cuestión ya mencionada y sobre la que se volverá. Un aspecto curioso es el interés mostrado y argumentado por sustituir el gas/petróleo/gasolina por el alcohol nacional.

II.4. *Las máquinas térmicas en obras de más amplio espectro*

Trazar un panorama aunque somero de los textos no monográficos que consideren las máquinas térmicas es tarea que exige tener en cuenta obras de muy diversas categorías, como los manuales de física, de mecánica aplicada o generales para inge-

⁴⁴ Se tardó en comprender bien que la calidad del agua que se había de vaporizar no era únicamente un problema económico, para preservar la eficacia en la transmisión del calor, es decir, de mantenimiento. Lo era asimismo de seguridad. Entre otras cuestiones, Guillén sugiere el empleo no solo de desincrustantes, sino también de agua depurada.

⁴⁵ Sobre el tema de las explosiones en la época se pueden citar el texto de R. H. THURSTON: *Steam boiler explosions, in theory and in practice* (Nueva York, John Wiley & Sons, 1888), o el de M. HERVIER: *Les explosions des chaudières à vapeur: leurs causes, leurs effets et examen critique des moyens préventifs* (París, Librairie Polytechnique Ch. Beranger, 1894).

nieros, incluso los diccionarios técnicos. Como en las secciones anteriores, se renuncia a trazar un panorama con cualquier atisbo de completitud.

En el ámbito de los textos de física se puede constatar la existencia del *Manual de física general y aplicada a la agricultura y la industria* de Eduardo RODRÍGUEZ⁴⁶ (1858). «Obra premiada por S. M. en concurso público a propuesta de la Real Academia de Ciencias», tras hablar de los «Hogares y calderas» o de la «Evaporación», dedica su capítulo XI a las «Máquinas de Vapor» (pp. 320-331); curiosamente, análogo espacio al que destina a la fotografía. Presenta el calórico como un agente incoercible e imponderable, anotando las dos teorías sobre el mismo: fluido material (teoría de *las emisiones*) y movimiento vibratorio (teoría de *las ondulaciones*), que «en el día parece más cierta» (p. 173). Con un estilo directo y simplificador de hechos, presenta las máquinas de vapor de simple y doble efecto, sean de baja, media o alta presión, tres tipos de dispositivos de distribución del vapor, el efecto del condensador y la noción de trabajo por expansión del vapor, así como los mecanismos básicos para la transformación del movimiento. Termina con la consideración de las máquinas basadas en aire caliente, particularmente la de Ericsson, «que todavía perfecciona su autor, y a la que ha dado el nombre de máquina calórica». Escrita según los condicionantes del concurso nacional que ganó, se trata de una obra de divulgación dirigida a un amplísimo público (según las bases del concurso, se editaron 1.200 ejemplares por cuenta del Estado).

Entre los tratados generales sobre mecánica cabe destacar el temprano del entonces coronel de artillería José de ODRIOZOLA (1839), polígrafo, autor entre otras obras de un *Curso completo de matemáticas puras* (1829). Académico fundador de la RACEFN, también fue individuo de la de Nobles Artes de San Fernando. Parte de que «motor [es] el agente de la fuerza cuya potencia da movimiento a la máquina» (prólogo, p. i). Al ser su asunto «el investigar el efecto dinámico de cada una de las fuerzas que simultáneamente accionan en la máquina movida», en la sección II se interesa por el «Trabajo del aire por su elasticidad» (parte del capítulo III, pp. 217-249, que no es propiamente sobre motores de gas) y por el «Trabajo del vapor del agua» (capítulo IV, pp. 263-317). Centrados en este último capítulo, y vista la fecha de publicación, más allá de la simple descripción textual y gráfica, es una obra de tratamiento moderno y analítico. Declara que su programa «se reduce a la teoría del trabajo [de este nuevo ramo de maquinaria] y lo divide en cuatro lecciones:

- «Formación del vapor para el servicio de las máquinas». (Idea de máquinas de Watt de baja presión y de Woolf de mediana y alta presión; evaluación de la cantidad de combustible consumido).
- «Valuación de la fuerza elástica del vapor». (Uso de las leyes de Gay-Lussac y de Mariotte y de la presión del vapor).

⁴⁶ Ingeniero industrial y profesor de Física General y Aplicada en el Real Instituto Industrial, en 1859 ingresó en la RACEFN. Fue el primer presidente de la Asociación de Ingenieros Industriales.

- «Cálculo del trabajo que hace el vapor del agua según los diversos sistemas actuales de máquinas». (Estudia máquinas sin y con trabajo expansivo del vapor, a las que denomina máquinas *con fiador* —el dispositivo de corte de la alimentación del vapor—, y sin y con condensador; introduce «fórmulas teóricas sobre el trabajo del vapor sobre el émbolo» y modificaciones que sean aplicables a la práctica. Finalmente, da «Ejemplos de aplicación con pesas y medidas españolas», que son naturalmente previas al sistema métrico decimal, empleando, por ejemplo, las libras por pulgada cuadrada o los pies cúbicos).
- «Cálculo de las cantidades de agua que gasta una máquina de vapor, ya para la formación de este, ya para la condensación».

Obra temprana e interesante, de temática global muy poco tratada en la España del momento, su importancia desborda ampliamente lo que concierne a las máquinas de vapor. Se inspira en diversos textos editados en Francia, en particular de Coriolis, a quien cita explícitamente.

Con un registro muy diferente, José Gotti, «profesor de maquinaria y catedrático de la misma asignatura en la Asociación defensora del trabajo nacional, hoy protectora de la clase obrera», y según advertencia de los editores (el autor es uno de ellos), da a luz «una obra completa de maquinaria» en cuatro volúmenes más un atlas con ilustraciones (J. GOTTI, 1859-1861). El primero comprende nociones básicas de aritmética y geometría, con énfasis en la mecánica (aborda las máquinas de vapor y las hidráulicas), mientras que el segundo se centra en el estudio específico de máquinas para «Hilados y tejidos mecánicos». De forma monográfica dedica los dos últimos tomos al «Cálculo, trazado y métodos para la construcción de las máquinas de vapor de todos sistemas» y a la «Planteación, manejo y detalles de las máquinas de vapor de todos sistemas». Como puede comprenderse por el público objetivo, no sobresale por el nivel de abstracción y cálculo, pero es un trabajo que consideramos de gran interés para apreciar el nivel de la enseñanza profesional para maquinistas y obreros especializados. De los que conocemos, es el primer texto en el que se emplea entre los ejemplos una máquina de vapor construida en España (por «Monlau en Barcelona», que en 1860 tenía los talleres en c/ San Pablo, 93).

Bastante más tardíos, dirigidos a los colectivos profesionales de ingenieros, arquitectos, maestros de obras y agrimensores, entre los manuales decimonónicos se pueden destacar los de Nicolás VALDÉS (1859 y 1870) y José M.^a SOROA y Carlos F. DE CASTRO (1892 y 1904). Ambos fueron objeto de segundas ediciones muy ampliadas unos doce años después de la primera⁴⁷. Centrado esencialmente en la mecáni-

⁴⁷ Valdés fue ingeniero militar y académico correspondiente de la RACEFN; Soroa también fue ingeniero militar, y F. de Castro de minas. En las segundas ediciones, a las máquinas térmicas les dedican las páginas 412-528 (de facto, una monografía con aplicaciones) y 535-572, respectivamente. En el segundo caso se profundiza separadamente en diversos temas propios de la cinemática y la dinámica de máquinas (los balancines, los reguladores centrífugos —Watt, Farcot, Buss, Proëll, Porter y Andrade— o los volantes).

ca con aplicación a las máquinas y a las construcciones, el primero fue designado libro de texto, entre otros muchos cursos, para el de «Máquinas de Vapor» en las Escuelas de Ingenieros Industriales (Barcelona, Madrid, Sevilla y Valencia) en 1861⁴⁸. Unas tres décadas posterior, el segundo es un volumen de espectro más amplio y, aunque de forma realmente muy somera, aborda cuestiones relativas a la química o la electricidad, banderas de la denominada *segunda revolución industrial*. También los estilos de presentación difieren. La obra de Valdés es más discursiva y analítica, fácilmente utilizable como texto, mientras que la segunda es esencialmente un pronuario con numerosísimas tablas. Sin embargo, es curioso observar que el primero no menciona los principios de la termodinámica, mientras que Soroa y F. de Castro sí⁴⁹. Ambas obras explican las máquinas de gas; no obstante, fruto de sus fechas de redacción, las diferencias en el tratamiento son sustanciales. La primera hace énfasis en las «máquinas calóricas, de gas y vapor recalentado», mientras que la segunda, sin entrar en cálculos, apunta la existencia de los motores de explosión (sin compresión, como los primeros de Otto-Langen, o con compresión, como los de Clerk, estos últimos de dos tiempos) y presenta los «de petróleo» como «la última evolución del motor de gas», ingenios necesitados de nuevos dispositivos como los carburadores (con pulverizadores y vaporizadores). Puede llamar la atención la preferencia de Valdés (p. 527) por las máquinas calóricas, que «reconocen por único principio el aire dilatado por el calor» (ingenios de combustión externa, como el de Ericsson, por ejemplo), frente a las de gas (de combustión interna, básicamente la de Lenoir), algo que una vez más hemos de achacar a la fecha de redacción (y al coste del combustible en el momento)⁵⁰. En cambio, conviene anotar la consideración que le otorga a la «Calórica de Reinlein» —capitán español de artillería— (pp. 524-526, lám. 32), a la que —como se ha mencionado— dos años después también considerará con cierto nivel de detalle Gumersindo de VICUÑA (1872a y 1872b).

Como manuales, ambos prestan atención significativa al diseño-dimensionamiento de las máquinas alternativas de vapor; sin embargo, una importante diferencia es la presencia de las turbinas de vapor de Laval en el segundo texto, mientras que en el primero se dedica amplio espacio a las aplicaciones, en particular al análisis y al dimensionamiento de las máquinas y propulsores marinos (ruedas de paletas y hélices) y de las locomotoras. En suma, ambas son obras de interés, exponentes de saberes ampliamente expandidos entre los técnicos del momento, claramente hijas de sus fechas de redacción.

⁴⁸ R. O. de 15 de octubre (*Gaceta de Madrid* del 20) «señalando las obras que han de servir de libros de testo en las Facultades, Escuelas Superiores y profesionales» (p. 371).

⁴⁹ Para simplificar la presentación, en este y los siguientes comentarios nos limitamos a las segundas ediciones (1870 y 1904), muy indicativas de cambios en el saber técnico.

⁵⁰ Resulta curioso observar que no menciona los desarrollos del español Jaime Arbós (1862); tampoco el motor atmosférico de Otto & Langen (1868), aunque apenas se conocía en esa fecha.

Para cerrar este rápido recorrido, valga mencionar dos monumentales diccionarios técnicos, los debidos al ingeniero de caminos Pelayo CLAIRAC Y SÁENZ (1877-1891), de explícito interés lexicográfico⁵¹, y al ingeniero industrial Carlos CAMPS ARMET (1888-1891)⁵², que se aproxima al concepto de diccionario enciclopédico y, según FORONDA (1948), «armoniza adecuadamente la parte teórica con la práctica». El primero es el *Diccionario general de arquitectura e ingeniería*, el segundo, algo más específico, el *Diccionario industrial*⁵³. Profusamente ilustrados ambos, el segundo trasluce en parte el saber hacer de La MTM, empresa de la que previamente había sido ingeniero el autor. Por ejemplo, este no solo se ocupa de reseñar la historia, clasificar los tipos de máquinas de vapor o hablar de su diseño y su cálculo, sino que aborda cuestiones de construcción, apuntando aspectos de producción como la «reducción a series de las piezas generales» o una sistematización de las «piezas especiales de las máquinas de vapor». Dada la época, el tratamiento de los motores de explosión a gas es mucho más reducido en ambos casos, y, curiosamente, es más descriptivo en el de Camps Armet que en el de Clairac y Sáez, cada uno con referencia a un fabricante de motores (Carlos Bloss, representante de Otto en España, y Bertrán Hermanos, respectivamente). Ninguno de los dos diccionarios aborda las turbinas de vapor ni las de gas⁵⁴. Un tercero, al que ya se ha hecho mención, también muy importante para saber del conocimiento técnico medio en el Ochocientos hispano, es el *Diccionario enciclopédico de agricultura, ganadería e industrias rurales* (M. LÓPEZ, J. HIDALGO y M. PRIETO, 1885-1889), aunque su tratamiento de las máquinas térmicas es más sucinto.

⁵¹ Algo que expresa el título completo. Acerca de esta dimensión véase el capítulo 1 de este mismo volumen, sección IV.3.

⁵² Sobre el primer autor véase la nota en los «Apuntes biográficos» del volumen v de esta misma colección. El segundo (EII de Barcelona, 1881), además de ingeniero de La MTM, estuvo agregado al Servicio de Tracción de la Compañía del Ferrocarril del Norte. Fue profesor en la cátedra de Mecánica y Máquinas de Vapor de la Escuela de Artes y Oficios de Barcelona y colaborador de varias revistas.

⁵³ Los tomos del diccionario de Clairac, que se publicó por fascículos, obedecieron a la siguiente serie: I (1877; [a-ca]); II (1879; [ce-e]); III (1884; [f-hyp]); IV (1888; [i-ll]); y V (1891-1908; [m-p]). La primera edición del de Camps no está fechada. Sin embargo, se admite que la presentación del primer volumen se realizó con ocasión de la Exposición Universal de Barcelona de 1888 (FORONDA, 1948). Redactado a la vista de volúmenes previos, el prólogo lo firma Ramón de Manjarrés en abril de 1889 y fue incluido en el volumen IV. Camps cita entre sus fuentes el diccionario de Clairac, que le sería útil hasta el volumen III, quizás hasta parte del IV.

⁵⁴ Compuesto por 6 volúmenes, se puede observar que el *Diccionario* de Camps Armet termina con «suma urgencia», aunque desconocemos la causa. Por ejemplo, al considerar la voz *turbina*, se limita a las hidráulicas, sin ninguna ilustración (!), y confiesa que evita extenderse en proporción a la «utilidad que producen a la industria». De la letra *u* solo presenta *ultramar*, mientras que, en la *v*, en el término *válvulas* se remite directamente al lector a las «Adiciones y Enmiendas» con las que se cierra la obra. Al fallecer el autor en 1891, el diccionario de Clairac vio interrumpida su publicación sin llegar a la letra *q*. Inicialmente pensado para ser culminado en 1891 (en realidad, fue publicado en 1908), fascículos del tomo v debieron de empezar a aparecer en 1889-1890.

III

ENTRE INVENTORES Y CONSTRUCTORES

Si previamente se ha aproximado el seguimiento académico y profesional de las máquinas térmicas desde la perspectiva de los textos, la pregunta a la que ahora se intenta responder es en cierto modo dual: ¿qué ocurrió en el ámbito de la innovación industrial? Para ello se toma como primer hilo conductor lo que nos ofrece el sistema de patentes. A este respecto aprovechamos en parte el buen hacer de investigadores como R. Rubén AMENGUAL (2004 y 2008) o José María ORTIZ VILLAJOS (2006 y 2008), el primero con énfasis más técnico; el segundo, más centrado en la historia industrial⁵⁵. Pero antes de analizar algunos aspectos cuantitativos y ejemplos de ideas protegidas, conviene recordar muy sintéticamente elementos básicos del sistema hispano de patentes en el Ochocientos⁵⁶.

No será hasta 1826 (R. D. de 27-III) cuando se disponga de una norma duradera, «estableciendo las reglas y el orden con que se han de conceder privilegios exclusivos por la invención, introducción y mejora de cualesquiera objetos de uso artístico» (*real cédula de privilegio*, no patente ni certificado). El Real Conservatorio de Artes (RCA) es la institución señalada como registro y archivo⁵⁷. Finalmente, en 1878 (30-VII) se promulga la *Ley fijando las reglas y condiciones bajo las que todo español o extranjero que pretenda establecer o haya establecido en los dominios españoles una nueva industria tiene derecho a su explotación exclusiva por cierto número de años*. Con la nueva norma, adquirir la propiedad de una invención será un derecho (*patente*) del inventor, no una gracia del monarca (*privilegio*); también aparecen los *certificados de adición* (para registrar mejoras complementarias).

Tres características básicas del sistema son: 1) la diferenciación entre privilegios o patentes *de invención* (idea de creación) y *de introducción* (para invenciones ya protegidas en el extranjero); 2) la necesidad de la «puesta en práctica», requisito que exigía la materialización en talleres españoles (*i. e.*, no vale con solo alumbrar una

⁵⁵ En un ámbito más general, acerca de las patentes pueden consultarse P. SAIZ (1995 y 1999) y J. M.^a ORTIZ VILLAJOS (1999). También se ha considerado lo mucho aportado por la historia empresarial e industrial hispana, sobre la que hay una ingente cantidad de trabajos, aunque aún se observan disimetrías importantes en cuanto a la cobertura de los estudios con respecto a la distribución geográfica. Como foro destacado en la temática, consúltese la revista *Historia Industrial*.

⁵⁶ Para más detalles, en el volumen IV de esta misma colección, R. R. AMENGUAL MATAS y M. SILVA SUÁREZ, 2007.

⁵⁷ Puede consultarse la sección «VII.3. Precedente de la Oficina Española de Patentes y Marcas», en P. J. RAMÓN TEJELO y M. SILVA SUÁREZ, «El Real Conservatorio de Artes (1824-1887), cuerpo facultativo y consultivo auxiliar en el ramo de industria», capítulo 4 del volumen V de esta misma colección: M. SILVA SUÁREZ (ed.): *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007, pp. 285-292.

idea, tampoco el importar los equipos o dispositivos) en un plazo de un año y un día (1826) o dos años (1878); y 3) aunque se exige explicitar las reivindicaciones que delimiten el objeto de protección, el reconocimiento se otorga «sin previo examen de la novedad ni de la utilidad del objeto», por lo que el sistema es *de facto* de otorgamiento por registro (por tanto, la concesión no podrá mirarse en ningún caso como una calificación de su novedad y utilidad): cumplidos los trámites formales de la legislación, se concede; ante reclamaciones por falta de novedad, se ha de acudir a los tribunales.

El coste de la protección dependía del tipo y de su duración. Las patentes de invención podían solicitarse por cinco, diez, quince o veinte años. Relativamente más caras, las de introducción tenían una vida limitada a cinco años. Obviamente, esta segunda vía también fue utilizada por compañías extranjeras en sus estrategias de protección internacional para, aunque fuese temporalmente, evitar o dificultar el plagio por competidores⁵⁸.

III.1. *Aproximación cuantitativa preliminar*⁵⁹

En lo sucesivo se centra la mirada en los privilegios o patentes de invención depositados por españoles o residentes en España, ya que los de introducción, como los textos traducidos, son menos representativos para nuestro objetivo de indagar en la creación técnica.

En el Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas (AHOEPM) se custodian 1.302 expedientes relativos a máquinas térmicas (excluyendo la producción de vapor o la calderería) para el período 1826-1914, lo que constituye apenas un 2% del fondo, cifra exigua no solo en términos absolutos, sino también relativos. Clasificando las patentes en *radicales* (cambio de paradigma, lo que conlleva, normalmente, una mejora sustancial de la potencia específica), *incrementales* (*principales*, de cierta complejidad técnica y cierto impacto; o *aditivas*, que normalmente no son percibidas por la sociedad, pues solo las conocen los expertos del sector) y *residuales* (que realmente no aportan desarrollo ni progreso técnico alguno), el cuadro 12.4 ofrece una primera idea de la relevancia de lo patentado; se puede observar que las importantes, las radicales más las incrementales principales, suponen un 9,2% (120 sobre 1.302), con una clara progresión en los sucesivos paradigmas técnicos⁶⁰.

⁵⁸ Por ejemplo, J. M.³ ORTIZ VILLAJOS (2006) describe el caso de la Crossley.

⁵⁹ Los datos que se presentan en esta sección se han tomado de R. R. AMENGUAL (2004 y 2008), así como de R. R. AMENGUAL y J. P. SAIZ (2007), textos en los que el lector puede encontrar otros muchos de interés.

⁶⁰ Salvo el caso de los turbocompresores y las turbinas de gas, paradigma que se desarrollará fundamentalmente en el siglo XX.

Patentes	Total		Radicales e incrementales principales		Incrementales aditivas y residuales	
Máquinas alternativas de vapor	302	23,2 %	13	4,3 %	289	95,7 %
Motores de aire caliente y de explosión	729	56,0 %	77	10,6 %	652	89,4 %
Turbinas de vapor	240	18,4 %	26	10,8 %	214	89,2 %
Turbinas de gas	31	2,4 %	4	12,9 %	27	87,1 %
Totales	1.302		120		1.182	

Cuadro 12.4. Distribución y relevancia de las patentes sobre máquinas térmicas en España, 1826-1914. Las relativas a turbinas son muy mayoritariamente del siglo xx. (Fuente: reelaboración sobre la base de R. R. AMENGUAL, 2004; R. R. AMENGUAL y P. SAIZ, 2007).

Nuestro moderno sistema de patentes arranca (1826) cuando la máquina de vapor alternativa ya ha adquirido una notable madurez técnica; además, la industrialización nacional es singularmente débil —incluso podría decirse que inexistente— en las primeras décadas del siglo, por lo que no surgen propuestas desde nuestro solar, y a los extranjeros tampoco les resulta rentable hacerlo. La existencia de un sustrato técnico nacional y un mercado con cierta potencialidad hace que la mayoría absoluta de las invenciones registradas lo sean en el segundo paradigma del cuadro (básicamente, a partir de la década de 1870): los motores de aire caliente y, sobre todo, de explosión, que las empresas foráneas patentan en España casi a la vez que en los demás países europeos. Una parte sustancial del desarrollo de las turbinas de vapor tendrá lugar ya en el xx. En cualquier caso, no existen aportaciones españolas a los cambios de paradigma o a su consolidación básica en el ámbito internacional, pero con el devenir del siglo se observa un mejor seguimiento y una mayor capacidad innovadora, a lo que también contribuirá la menor envergadura de las máquinas alternativas de gas y su rápida difusión, ingenios que podrán ser construidos en talleres de tamaño relativamente más pequeño. Durante la segunda mitad de la centuria, debido al elevado coste del carbón, las turbinas hidráulicas serán competidoras directas de las máquinas térmicas, y ya en la última década comienza con fuerza la implantación de los motores eléctricos, aunque la generación de este tipo de energía reforzará a su vez el desarrollo de las turbinas hidráulicas y de los motores de combustión, demandando un incremento sustancial en sus potencias.

Desde la perspectiva del país en que se originan las patentes, cabe reseñar la preponderancia de Francia en los cuatro paradigmas técnicos apuntados (cuadro 12.5). No obstante, al igual que en los textos, muchas de las patentes no tienen su origen en el país vecino, sino que son compañías galas las que las registran. Simple

manifestación del retraso con que aquí se evoluciona⁶¹, lo incipiente de los dos paradigmas de turbinas térmicas hace que la presencia relativa de lo generado en España sea menor que en los casos anteriores. Finalmente, «si sumásemos a todas las patentes de máquinas térmicas solicitadas por extranjeros (residentes y no residentes) las de españoles pedidas como *de introducción*, la presencia de tecnología de algún modo procedente del exterior se acercaría al 87 por 100»⁶². El 13% complementario, privilegios o patentes de invención depositadas por residentes en España, corresponden esencialmente a «aspectos incrementales aditivos y residuales generados por el efecto de arrastre de la fabricación de motores licenciados o copiados en el extranjero»⁶³.

	Patentes (total)	Máquinas alternativas de vapor	Motores de aire caliente y de explosión	Turbinas de vapor	Turbinas de gas
Francia	32,1 %	25,2 %	30,9 %	44,2 %	35,5 %
España	17,6 %	22,5 %	19,9 %	5,4 %	9,7 %
Alemania	13,5 %	10,6 %	15,5 %	12,1 %	6,5 %
Reino Unido	12,4 %	7,6 %	13,3 %	14,2 %	25,8 %
Estados Unidos	11,1 %	16,9 %	8,8 %	12,1 %	–
Suiza	2,0 %	1,0 %	1,1 %	3,8 %	19,4 %
Resto	11,3 %	16,2 %	10,5 %	8,2 %	3,1 %
Número de patentes	1.302	302	729	240	31

Cuadro 12.5. Patentes en España (1826-1914) sobre máquinas térmicas según el país de residencia del solicitante. (Fuente: R. R. AMENGUAL, 2004; R. R. AMENGUAL y P. SAIZ, 2007).

La distribución de lo patentado por comunidades autónomas (cuadro 12.6) muestra la preponderancia de Cataluña, cuestión que en otros sectores técnicos adquiere valoraciones más equilibradas. Mientras que en el Principado la evolución del primer al segundo paradigma incrementa radicalmente su presencia relativa, puede observarse cómo, por ejemplo, Andalucía decrece, reflejo de una temprana industrialización que no se consolida.

⁶¹ Tendencia en cierto modo inversa a la que muestran Reino Unido o Suiza, por ejemplo.

⁶² R. R. AMENGUAL y P. SAIZ, 2007, p. 110.

⁶³ *Ibíd.*, p. 112.

	Patentes (total)	Máquinas alternativas de vapor	Motores de aire caliente y de explosión	Turbinas de vapor	Turbinas de gas
Cataluña	66,1 %	38,2 %	80,2 %	55,6 %	–
Madrid	10,9 %	20,0 %	7,1 %	11,1 %	–
País Vasco	7,8 %	9,1 %	6,3 %	11,1 %	50,0 %
Andalucía	6,3 %	14,5 %	2,4 %	11,1 %	–
Com. Valenciana	2,6 %	7,3 %	0,8 %	–	–
Murcia	2,6 %	5,5 %	0,8 %	11,1 %	–
Castilla y León	1,6 %	3,6 %	0,8 %	–	–
Asturias	1,0 %	–	0,8 %	–	50,0 %
Aragón	0,5 %	–	0,8 %	–	–
Ultramar	0,5 %	1,8 %	–	–	–
Número de patentes	192	55	126	9	2

Cuadro 12.6. Patentes sobre máquinas térmicas en España, 1826-1914, por residentes, según comunidades autónomas. Del total de 229 patentes existentes, para 37 se desconoce la provincia de residencia del solicitante, por lo que lo reflejado en la tabla concierne a 192 casos. (Fuente: R. R. AMENGUAL, 2004; R. R. AMENGUAL y P. SAIZ, 2007).

III.2. *Las máquinas de vapor alternativas*

III.2.1. Los cuatro grandes, patentes y otros ingredientes

El cuadro 12.7 sugiere una primera aproximación al grupo de cuatro grandes empresas seleccionadas, pero son demasiados los datos que faltan para una nítida visión, pues la única compañía que se conoce con cierto detalle es La MTM. Sin embargo, cabe apuntar que las potencias de las máquinas de Alexander y Hermanos eran relativamente pequeñas (principalmente, industria y agricultura), mientras que La MTM y P&W fabricaron muchos motores marinos, de potencias sustancialmente superiores. En cualquier caso, el cuadro permite constatar que 1) las patentes de invención, ¡solo tres!, fueron realmente casi nulas⁶⁴ y 2) la construcción industrial en continuidad comenzó con un significativo retraso frente a países como Inglaterra,

⁶⁴ J. M.^a ORTIZ-VILLAJOS (2008) tiene diferente intención: el estudio del impacto de las patentes en el éxito empresarial, incluidas, por tanto, las de introducción. Consecuentemente, su cuadro 1 (p. 181), del que este deriva, difiere sustancialmente, también por nuestra diferente apreciación técnica en alguna patente.

Francia, Bélgica o Estados Unidos; a lo dicho se debe añadir que, esencialmente, el arranque se produjo bajo la tutela técnica de profesionales británicos.

	Pervivencia empresarial	N.º de máqs. hasta 1871	N.º de máqs. hasta 1882	N.º de máqs. hasta 1901	Patentes de invención	Fechas de solicitud
Nuevo Vulcano (NV)⁽¹⁾	c. 1825-	200	?	?	1	1869
La Maquinista Terrestre y Marítima (La MTM)⁽²⁾	1855-	156	336	604	1	1890
Alexander Hermanos (AH)⁽³⁾	c. 1849-1923	?	1.006	1.800	1	1880
Portilla y White (P&W)⁽⁴⁾	1857-1907	25	?	43	-	-

Notas: 1) (J. NADAL, 1991; F. CABANA, 1992). «Unión Naval de Levante-Talleres Nuevo Vulcano» hasta 1998, fue incorporada al Grupo Boluda; 2) (A. del CASTILLO, 1955; A. ESCRIBANO, 1986). Hasta 1901 se fabricaron 545 máquinas fijas (J. NADAL, 1991) y 59 marinas (S. RIERA I TUÈBOLS, 1993). Las cifras de 1871 y 1882 solo incluyen máquinas fijas. La MTM proviene de la fusión de talleres previos; tras diversas modificaciones de propietario y de actividad, está incorporada al grupo GEC-Alsthom; 3) (J. NADAL, 1991; F. CABANA, 1992). En 1923 fue absorbida por La MTM; 4) (J. I. MARTÍNEZ RUIZ, 1998). Tuvo varias denominaciones: Fundición de Hierros Portilla Hermanos y White (1857-1865), Portilla Hermanos y White (La Maquinista Sevillana, 1865-1868), Portilla, White y Cía. (1868-1896) y, finalmente, S. A. Talleres de Portilla (1896-1906). En 1906 fue comprada por el almacenista de hierros Hijos de Miguel Fernández Palacios; maquinaria y producción terminada fueron vendidas al peso. Hasta 1870 se constatan 17 máquinas fijas y 8 marinas, y de 1870 a 1894, 2 fijas y 16 marinas, aunque muy probablemente se fabricarían algunas más.

Cuadro 12.7. Los principales fabricantes españoles de máquinas de vapor. (Fuente: reelaboración a partir de J. M.^a ORTIZ-VILLAJOS, 2008, p. 181).

Además de la contratación de técnicos extranjeros (caso de Joseph White por NV), o de su iniciativa en este país (los hermanos Alexander en AH o Isaías White en P&W, por ejemplo), en el desarrollo del sector de las máquinas térmicas jugó un papel destacado la importación inicial de equipos, con la subsiguiente reproducción y adaptación de modelos. Como refiere Jordi Nadal:

La construcción de máquinas de vapor era una especialidad complicada [...]. La clase de mecánicos modernos ha sido efecto y no tanto causa del maquinismo. Durante los años 1830, la familiaridad con las máquinas de vapor venidas de fuera acabó por dar origen a expertos capaces de repararlas. De las reparaciones, se pasó a la construcción⁶⁵.

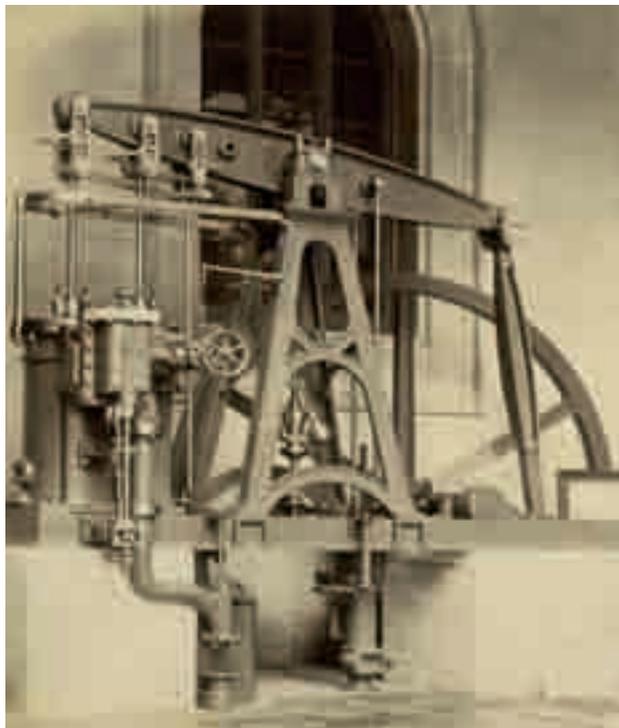
Por otro lado, la aludida formación del personal en las fábricas fue complementada, especialmente ya mediada la década de 1850, con personal formado académicamente en escuelas apropiadas, la de Ingeniería Industrial de Barcelona en particular.

⁶⁵ NADAL, 1991, pp. 173-174, trad. de J. M.^a ORTIZ-VILLAJOS (2008, p. 185).

A pesar de lo dicho, la cuestión de la creación y la innovación es muy compleja, y no se patenta todo lo que tiene interés técnico ni tiene interés técnico todo lo que se patenta. Por otro lado, no se le puede dar el mismo valor a un privilegio o patente del que no conste su acreditación oficial de puesta en práctica, al tiempo que se ha de subrayar que la no acreditación tampoco implica que la invención no se pusiera en práctica. Patentar es proteger innovaciones (importadas o no), lo que conlleva costes: de inscripción, anualidades, certificaciones, etc. Por lo tanto, desde una lógica empresarial, ante la ausencia de mercado suficiente o de competidores que amenacen el propio hacer, o ante los elevados costes de persecución judicial de los imitadores si no constituyen amenaza fundamental, esta protección puede no ser económicamente rentable. Es decir, patentar o mantener una patente podía llegar a ser no deseable desde una simple lógica de coste/beneficio. En resumen, aunque el registro de privilegios o patentes y su eventual mantenimiento sea un indicador interesante, también se puede innovar al margen. Así ocurrió, por ejemplo, cuando en 1872 La MTM fabricó máquinas de vapor según el sistema Corliss, tras el fenecimiento en 1870 de la patente del ingeniero estadounidense, que por cierto nunca la registró en España⁶⁶.

La única patente de invención solicitada desde el entorno de **Nuevo Vulcano** lo fue a título personal por su director técnico (ya lo era en la década de 1860, y lo fue hasta su fallecimiento en 1877), el británico Joseph White. En junio de 1869 pide asegurar por diez años «un sistema de empaquetado para émbolos de cilindros de las máquinas a vapor sean fijas, marítimas o locomotoras» (AHOEPM, privilegio n.º 4.634). La idea es tornearse los anillos de empaquetado a un tamaño algo superior (del orden del 4%), cortándole el sector «que resulta de su mayor diámetro» para que pueda ajustarse al valor nominal, por lo que «la acción de los anillos cuando funcionan es perfecta en todo el perímetro del cilindro, dispensándoles con su elasticidad natural de toda clase de muelles, curvas y presión de vapor por detrás del empaquetado». Reconoce que se pueden hacer de bronce o de otros metales, pero afirma hacerlos de hierro fundido. Ahorro de material, simplificación del montaje y ahorro de combustible por un mejor ajuste son las ventajas esgrimidas. El privilegio le fue concedido en octubre del mismo año. El que White hiciera la solicitud a título personal se comprende porque, hecho peculiar, simultáneamente dirigía su propio taller, y en ambas empresas fabricó el privilegiado empaquetado. Calificable de invención incremental aditiva, concernía a un elemento, no a un nuevo concepto de máquina.

⁶⁶ El que no hubiera sido patentada en España plantea la cuestión de por qué La MTM no depositó unos años antes un privilegio de introducción. Quizás la respuesta, entre otros ingredientes, deba contemplar la baja demanda hispana de maquinaria, rematada por la crisis empresarial derivada de la general que sacudió la economía española en 1867. En cualquier caso, a partir de 1870 la adopción del sistema Corliss por los constructores de máquinas de vapor fue amplísima tanto en los Estados Unidos como en Europa. Diversos ejemplos de ello, con las naturales variantes, se pueden encontrar en W. H. UHLAND, *Les nouvelles machines à vapeur, notamment celles qui ont figuré à l'Exposition Universelle de 1878*, París, E. Bernard, 1879.



12.6. Máquina de vapor de balancín superior, característica de la producción de Nuevo Vulcano: Fotografía perteneciente al álbum de la Exposición Catalana de 1877, que tuvo lugar en el edificio de la Universidad de Barcelona, el cual albergaba la Escuela de Ingenieros y la Facultad de Ciencias. En ese patio expusieron sus productos las más importantes empresas de maquinaria. Además, estaban presentes Planas, Junoy y Compañía; La MTM; y Alexander Hermanos. Los dibujos de las láminas 4 y 5 del álbum de dibujos de máquinas presentado como anexo en este volumen (p. 806) complementan esta ilustración mostrando detalles de los cilindros y las camisas, de acuerdo con el sistema White, debido al director técnico de la empresa.

Alexander Hermanos fue la primera empresa constructora en Barcelona que produjo con regularidad máquinas de vapor. Su primer privilegio (de introducción) relativo a estos ingenios fue solicitado en 1858. Los dos hermanos fundadores —Thomas y David— se autodefinían como «residentes en Barcelona, Ingenieros mecánicos, constructores de máquinas y calderas de vapor»⁶⁷. Su objetivo era claro: «asegurar la propiedad para la construcción de las máquinas de vapor de dos cilindros y condensación (sistema Woolf), que hemos introducido de otro país para aplicarlas a la navegación». El diseño que se protege servirá como base para su mejor especialidad: las máquinas de media presión (entre 2 y 4 atmósferas) y dos cilindros (de alta y baja presión, máquinas compuestas). La mejora más importante en su saber la protegerán con su única patente de invención sobre máquinas de vapor, en 1880. Conciérne a «un aparato de expansión variable, movido directamente por el regulador, aplicable a cualquier sistema de máquinas [de vapor]» (AHOEPM, patente n.º 863, solicitada por Guillermo Alexander y Easton en marzo de 1880)⁶⁸:

⁶⁷ AHOEPM, privilegio n.º 1.683, titulado *Sistema de máquinas de vapor de dos cilindros y condensación aplicable a la navegación*; fue solicitado en enero de 1858.

⁶⁸ Fue concedida en junio de 1880, y su puesta en práctica, certificada en diciembre de 1881. Caducó por fenecimiento a los veinte años de la concesión.

Será objeto de la patente de invención que se solicita la construcción de reguladores para máquinas de vapor de todos sistemas empleando en ellos para abrir y cerrar la válvula de distribución del vapor el sistema de plano inclinado en forma de hélice y la palanca con el tope correspondiente descrito en la Memoria y planos que se acompañan, cualquiera que sea la construcción de dicha válvula y el sistema regulador que se adopte.

El mecanismo propuesto, movido directamente por el regulador, acciona la válvula de distribución variando el grado de expansión con que el vapor trabaja en el interior del cilindro, modificando por consiguiente la fuerza y la potencia a desarrollar (a mayor expansión, menor empuje medio y menor consumo de combustible por CV-hora).

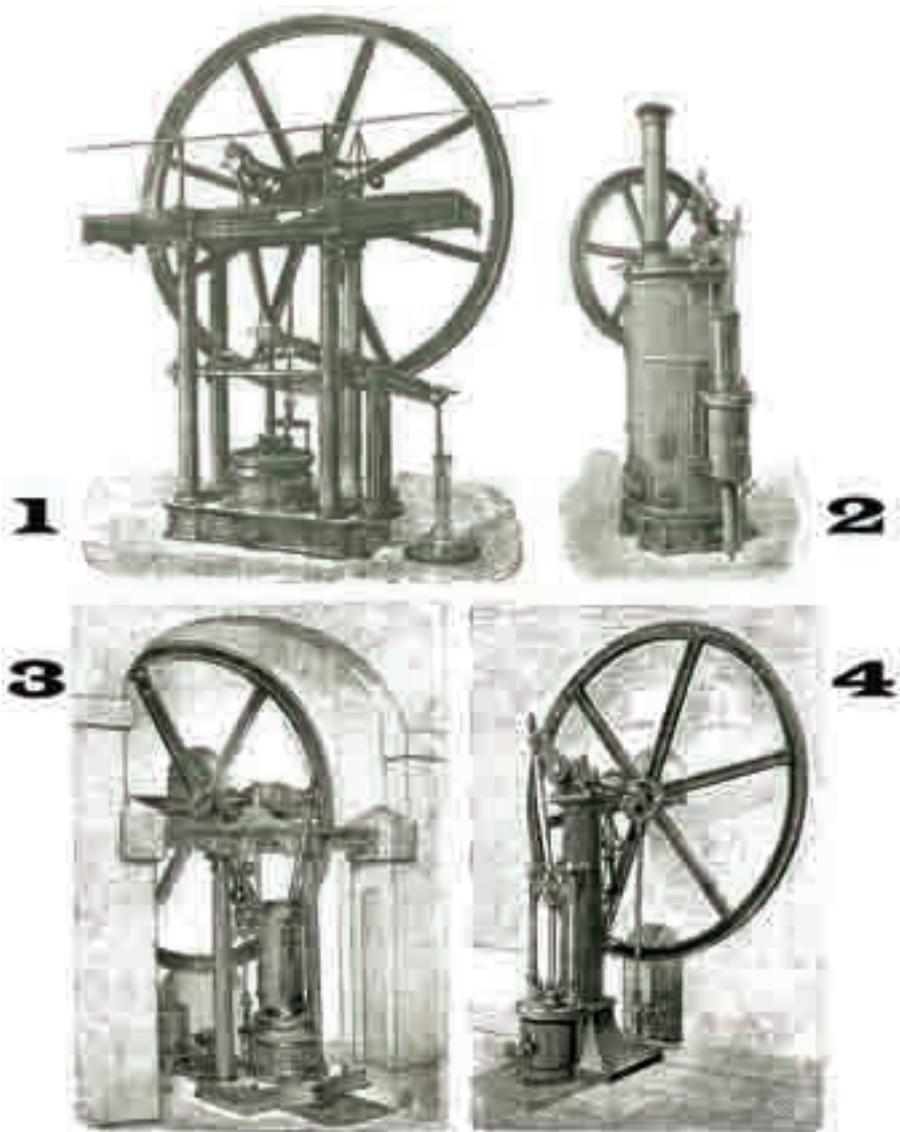
Ecos de esta patente y del privilegio de 1858 aparecen en la publicidad de la casa, incluso de los primeros años del siglo xx; por ejemplo, en múltiples anuncios, al menos entre 1892 y 1905, en la revista *Industria e Invenciones* se afirma repetidamente:

El sistema de las máquinas construidas de esta casa es de expansión, por medio de dos cilindros y condensación, o sea el sistema más económico de combustible conocido hasta el día, además llevan la nueva válvula expansiva privilegiada, movida automáticamente por el regulador, lo que da a las máquinas una marcha uniforme e invariable, aun cuando se carguen o descarguen repentinamente los aparatos que mueven las mismas, y además producen una economía notable en el combustible, que no baja del 12 por 100 con relación al antiguo sistema de regulador a papillón.

Sorprendentemente, en todo el período mantienen, sin actualizar, la afirmación de que «pasan de 1.500 las MÁQUINAS de VAPOR construidas en esta casa hasta la fecha»; no obstante, siempre recuerdan que poseen «MEDALLAS DE ORO en las Exposiciones Internacionales de París, años 1867 y 1878; DIPLOMA DE HONOR de la Academia Nacional Agrícola y Manufacturera de Francia; VARIAS MEDALLAS Y DIPLOMAS de diferentes Exposiciones Nacionales y Extranjeras». No disponemos de datos sobre si llegaron a exportar máquinas a Francia, donde recibieron los importantes reconocimientos mencionados.

A través de la publicidad y de informaciones periodísticas, F. CABANA (1992, p. 61) ofrece datos sobre la evolución del número total de máquinas de vapor fabricadas por la empresa hasta la fecha: 125 en 1860, 1.350 en 1884, 1.500 en 1892, 1.600 en 1895 y 1.800 en 1901. En el *Anuario de Electricidad* de 1903 («Anuncios», p. 33), la firma reitera como argumento comercial la importancia de su invención: «Especialidad en máquinas de vapor del sistema más económico de combustible conocido, con regulador privilegiado perfecto en su marcha, lo que hace que sean de gran aceptación para las instalaciones de electricidad». En suma, tanto el privilegio de introducción de 1858 como la patente de invención de 1880 fueron nucleares para la expansión del negocio de Alexander Hermanos, pero no solo.

Surgida para construir «máquinas de vapor terrestres y marítimas, así como locomotoras para los ferrocarriles», inicialmente **La Maquinista Terrestre y Marítima (La MTM)** se centró en la motorización de actividades industriales (máquinas



12.7. Máquinas de vapor verticales con cilindro inferior de Alexander Hermanos (Fuente: publicidad en *Industria e Invenciones*, desde 1892 a 1905): Salvo la segunda, que es semifija (y lleva incorporada la caldera, también vertical), en las tres máquinas fijas, el árbol con el volante va sostenido por dos soportes, uno alojado en una abertura en la pared, el otro, sobre una viga de palastro o directamente sobre el capitel de una columna (4). La viga va apoyada en 4 o 2 columnas y se encuentra, además, afianzada en dos pilares de obra. Las columnas estriadas y rematadas con capiteles dóricos otorgan a las máquinas un aspecto arquitectónico clasicista. J. ROSICH (1908, pp. 237-239) describe de este modo la máquina 3, «sencilla de construcción y robusta»: «Es de doble expansión, con los cilindros en tándem y colocado superiormente el de baja, quedando el de alta a nivel inferior al suelo. Ambos cilindros tienen envolvente completa de vapor, para fuerzas desde 100 caballos en adelante, siendo solo completo el de baja para fuerzas menores». Posteriormente, aclara que el distribuidor es de concha (o corredera) y explica cómo el regulador (que lleva un freno de aire) actúa sobre el mecanismo de expansión. Modelos más antiguos (sin el sistema de expansión privilegiado) de una columna (20 CV) y de cuatro columnas se pueden ver fotografiados en el álbum de la Exposición Catalana de 1877 (fig. 2.6, p. 182 del volumen iv de esta misma colección).

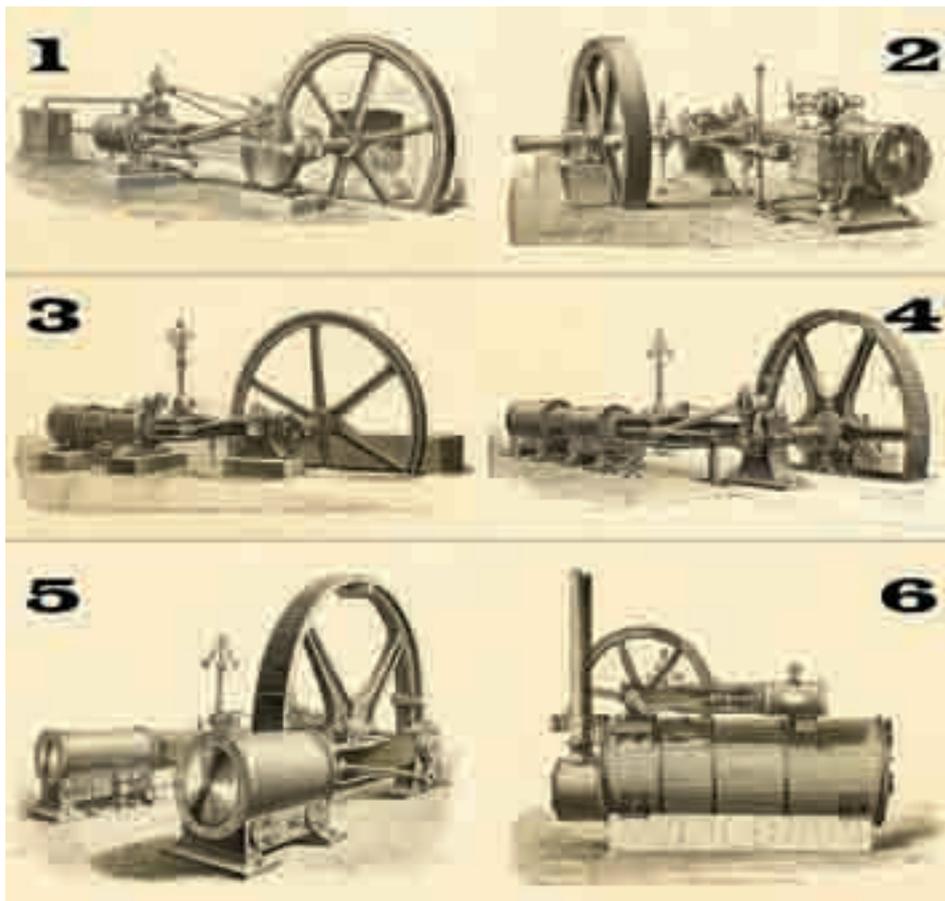
fijas y semifijas, también locomóviles) y de buques de la Armada. Muy tardíamente, en los tres últimos lustros del siglo, y sobre todo en la siguiente centuria, La MTM contribuyó sustantivamente a la construcción de locomotoras. Dicho esto, se puede afirmar que, «a lo largo de la segunda mitad del siglo XIX, las realizaciones de la primera empresa española de construcciones mecánicas quedaron muy por debajo de los objetivos para los que había sido creada y dotada»⁶⁹. Lo mismo le ocurrirá a la sevillana P&W, también fundada por fusión de compañías previas por los mismos años y con similares expectativas industriales. En el átono mercado nacional, las dos empresas estuvieron a punto de ser liquidadas, especialmente a causa de la crisis de 1867. Afortunadamente, ambas consiguieron sobrevivir gracias a entrar, La MTM con particular fuerza, en el ámbito de las construcciones férreas (mercados, puentes...) ⁷⁰, actividad por la que, paradójica e infundadamente, hoy se les recuerda incluso más que por su razón de ser fundacional.

Preocupado por aclimatar saberes foráneos, antes de fundar La MTM Valentín Esparó registró cinco privilegios de introducción, solo uno relativo al vapor: «aparato para recalentar y secar el vapor» (AHOEPM, privilegio n.º 975, año 1852), del que no se conserva la memoria descriptiva. Desde 1855, año en que se fundó, hasta 1929, La MTM registró siete privilegios o patentes, pero solo uno de invención relacionado con el vapor: «un procedimiento para la condensación del vapor en el interior de un aparato cuyas paredes exteriores se hallan en contacto con la atmósfera» (AHOEPM, patente n.º 11.110, solicitada en agosto de 1890). Concedida la patente en octubre de 1890 (por veinte años), solo fue mantenida en vigor hasta octubre de 1894, cuando caducó por falta de pago de la anualidad. En suma, durante el siglo XIX, en el ámbito del vapor, La MTM solo se basó en una patente de invención, que podría calificarse de relativamente marginal. Dicho de otro modo, su estrategia se sustentó en el uso casi exclusivo de tecnologías de libre disposición, eventualmente mejoradas con diseños propios, pero no patentadas; también, en acuerdos de cesión de tecnología, como se comentará. Justo una década después que en Inglaterra, a partir de 1872 introdujo en el ámbito español el sistema Corliss, un tipo de diseño del que ya se ha hablado. No obstante, claramente satisfecha del esfuerzo técnico que ello le supuso y de los resultados obtenidos, en 1880 la compañía reconoce que, para fabricar este tipo de máquinas

⁶⁹ J. NADAL, 1991, p. 173.

⁷⁰ «Las construcciones metálicas eran mucho menos complejas técnicamente, pero también menos rentables que las mecánicas, por lo que la empresa [La MTM] tuvo una baja rentabilidad hasta fines del siglo XIX» (dividendos medios anuales del orden del 4%, frente al 6% de La España Industrial) (J. M.ª ORTIZ-VILLAJOS: «Importancia de las patentes para los primeros fabricantes de máquinas de vapor en España: Nuevo Vulcano, La Maquinista Terrestre y Marítima y Alexander Hermanos», en *VIII Congreso de la AEHE*, 13-16 de septiembre de 2005).

con la precisión que su sistema reclama, ha construido nuevas máquinas, herramientas necesarias al objeto. Esta sociedad, después de haber construido más de 40 máquinas de dicho sistema, ha puesto últimamente en marcha dos de la fuerza colectiva de 400 caballos efectivos⁷¹.



12.8. Máquinas de vapor horizontales de La Maquinista Terrestre y Marítima (Fuente: C. CAMPS ARMET, 1889): 1) «A condensación. El condensador y la bomba de aire están dispuestos a continuación del cilindro, la bomba de aire recibe directamente el movimiento del émbolo del cilindro por la prolongación de su espiga o vástago»; 2) «Sin condensación, con cambio de marcha, destinada a la extracción de minerales y escombros de las minas»; 3) «De alta y baja presión, de dos cilindros, a condensación y expansión variable automática»; 4) «Corliss, de alta y baja presión y condensación»; 5) «Tipo moderno de máquinas "Corliss", de alta y baja presión, y condensación, conocidas por máquinas Compound»; 6) «Semifija de un cilindro».

⁷¹ Es texto de un anuncio de la empresa reproducido en el *Almanaque del Diario de Barcelona* (cit. por J. NADAL, 1991, p. 166).

Quinquenio	Vapores											
	En Cataluña			En el resto de España			No consta			TOTAL		
	N.º	pt	pm	N.º	pt	pm	N.º	pt	pm	N.º	pt	pm
56-60	24	391	16,3	1	6	6	0	0	-	25	397	15,9
61-65	37	664	17,9	8	97	12,1	0	0	-	45	761	16,9
66-70	47	543,5	11,6	12	82	6,8	4	20	5	63	645,5	10,2
71-75	69	3.161	45,8	8	61	7,6	1	6	6	78	3.228	41,4
76-80	58	2.864	49,4	6	66	11	0	0	-	64	2.930	45,8
81-85	53	2.412	45,5	35	794	22,7	3	10	3,3	91	3.216	35,3
86-90	55	4.161	75,7	3	16	5,3	1	20	20	59	4.197	71,1
91-95	20	4.197	209,9	13	492	37,8	1	150	150	34	4.839	142,3
96-00	45	4.296	95,5	40	3.486	87,2	0	0	-	95	7.782	81,9
01-05	7	844	120,6	7	484	69,1	0	0	-	14	1.328	94,9
06-10	4	975	243,8	4	300	75,0	0	0	-	8	1.275	159,4
11-17	3	330	110	5	1.380	276	0	0	-	8	1.710	213,8
1932	1	70	70	0	0	-	0	0	-	1	70	70
No consta	0	0	0	1	?	?	6	18	3	7	18	2,6
TOTAL*	423	24.908,5	58,9	143	7.799		16	224	14	582	32.931,5	55,7

Cuadro 12.8. Resumen sobre las máquinas de vapor fijas construidas por La Maquinista Terrestre y Marítima (*pt* = potencia total, *pm* = potencia media, ambas en CV). Ha sido elaborado sintetizando el cuadro 1 en J. NADAL (1999, p. 125), obtenido a su vez del *Libro de registro de las máquinas de vapor construidas por La Maquinista*. Los equipos destinados al mercado del Principado supusieron el 75,64% de potencia (el 72,68% de ingenios). [* Reproducimos literalmente la línea resumen, aunque hay una pequeña inconsistencia de poco más del 1% en alguna cifra]. Obsérvese la drástica caída, tanto en el número de máquinas como en la potencia total, que casualmente tiene lugar con el cambio de siglo.

A partir de la promulgación de la Ley de la Escuadra de 1887, enmarcada en un programa de protección a la industria nacional, La MTM fue el principal proveedor de las potentes motorizaciones de las nuevas unidades de guerra hispanas. Todas con máquinas de triple expansión y horizontales, las de mayor caballaje fueron para los cruceros: *Alfonso XIII* y *Lepanto*, contratadas en 1888, de 7.800 CV de tiro natural y 11.500 CV de tiro forzado; *Príncipe de Asturias* y *Cataluña*, en 1891, y *Cardenal Cisneros*, en 1892, los tres de 10.500 y 15.000 CV, respectivamente; o el *Reina Regente*, en 1898, de 9.100 CV (11.000 de tiro forzado). El acorazado *Emperador Carlos V*, contratado en

1892, recibió la mayor motorización fabricada en la España del Ochocientos, 15.000 CV de tiro natural (18.500 CV de tiro forzado), y fue entregado en 1896. No entraremos en la descripción de estos motores⁷². Simplemente, permítasenos apuntar que, en este caso, la estrategia tecnológica no pasó ni por desarrollos propios ni por adquirir patentes ni por emplear tecnologías maduras de libre disposición: se hizo un acuerdo con la reputada constructora Maudslay, Sons and Field para que se ocupara del diseño; además, para los primeros motores supervisó la construcción y las pruebas. Los planos y los cálculos de la empresa británica eran enviados a Barcelona, donde la oficina técnica de La MTM los revisaba y hacía las adaptaciones pertinentes antes de que pasaran a ser construidos.

Dentro del grupo de los cuatro grandes constructores de máquinas de vapor hispanos se encuentra la sevillana **Portilla, White y Cía. (P&W)**⁷³. Nació como «fundi-



12.9. Máquinas propulsoras del acorazado Emperador Carlos V, fabricadas por La Maquinista Terrestre y Marítima (1896): Diseñado por Maudslay, Sons and Field, el motor principal está constituido por dos máquinas gemelas de triple expansión. Del tipo invertido, cada una posee cuatro cilindros, uno de alta (diám., 1,320 m), otro de media (1,960 m) y dos de baja presión (2,085 m). La carrera de los émbolos es de 1,150 m. Capaz de funcionar a 100 rpm, desarrolla 15.000 CV en tiro normal y 18.500 en tiro forzado. Para el de alta, los distribuidores son cilíndricos, mientras que los restantes cilindros los llevan de corredera. Los dos condensadores principales son de bronce de cañones y el

número de calderas es doce. (Fuente: Mundo Naval, 1 de mayo de 1897; tomada a su vez de la revista Engineering). En la esquina superior izquierda, postal coloreada con el buque en el puerto de Vigo.

⁷² Véase S. RIERA I TUÈBOLS, 1993, pp. 335-385, con abundancia de datos técnicos y económicos.

⁷³ Tuvo distintas denominaciones (cuadro 12.7). Con diferencia es la peor conocida del grupo seleccionado. Como afirma J. I. MARTÍNEZ RUIZ (1998, p. 76), «destruida la documentación emanada de la propia empresa o, en el mejor de los casos, pendiente de localización pese a los esfuerzos realizados», el conocimiento de la compañía es muy parcial.

ción de hierros», empresa en la que Domingo y José de la Portilla, indianos de origen cántabro, se asociaron con el mecánico de origen británico Isaías White, que sería el director técnico. Su objetivo inicial se limitaba a «reparar la escasa maquinaria que venía del extranjero y la de los vapores que ascendían el Guadalquivir». Pero, repitiendo la citada apreciación de Nadal, «de las reparaciones se pasó a la construcción», poco después se comenzaron a recibir encargos para fabricar máquinas de vapor para la navegación, especialmente para buques de guerra, también para la industria, particularmente para la agroalimentaria. Ello supuso una cierta especialización inicial en máquinas de gran caballaje (superior al centenar de CV). Superada la crisis de 1867, sus expectativas se vieron reducidas. No sabemos mucho del diseño y los diseñadores de sus máquinas⁷⁴. A modo de ilustración, la prueba oficial del cañonero *Eulalia* (el 20 de enero de 1883) dio lugar a un comentario en *La Ilustración Española y Americana* (del 30 de marzo de ese año) en el que se afirmaba que dio⁷⁵

por resultado un andar medio de 10 millas, desarrollando las máquinas 312 caballos con cuatro atmósferas de presión en las calderas, y 116 revoluciones de los cigüeñales [...]. Las máquinas y calderas, construidas en los acreditados talleres de los Sres. Portilla, White y Compañía, de Sevilla, son en número de dos: una para la hélice de babor y la otra para la de estribor. Su sistema es de alta y baja presión, y condensador de superficie, y están dotadas de todos los adelantos conocidos hasta el día.

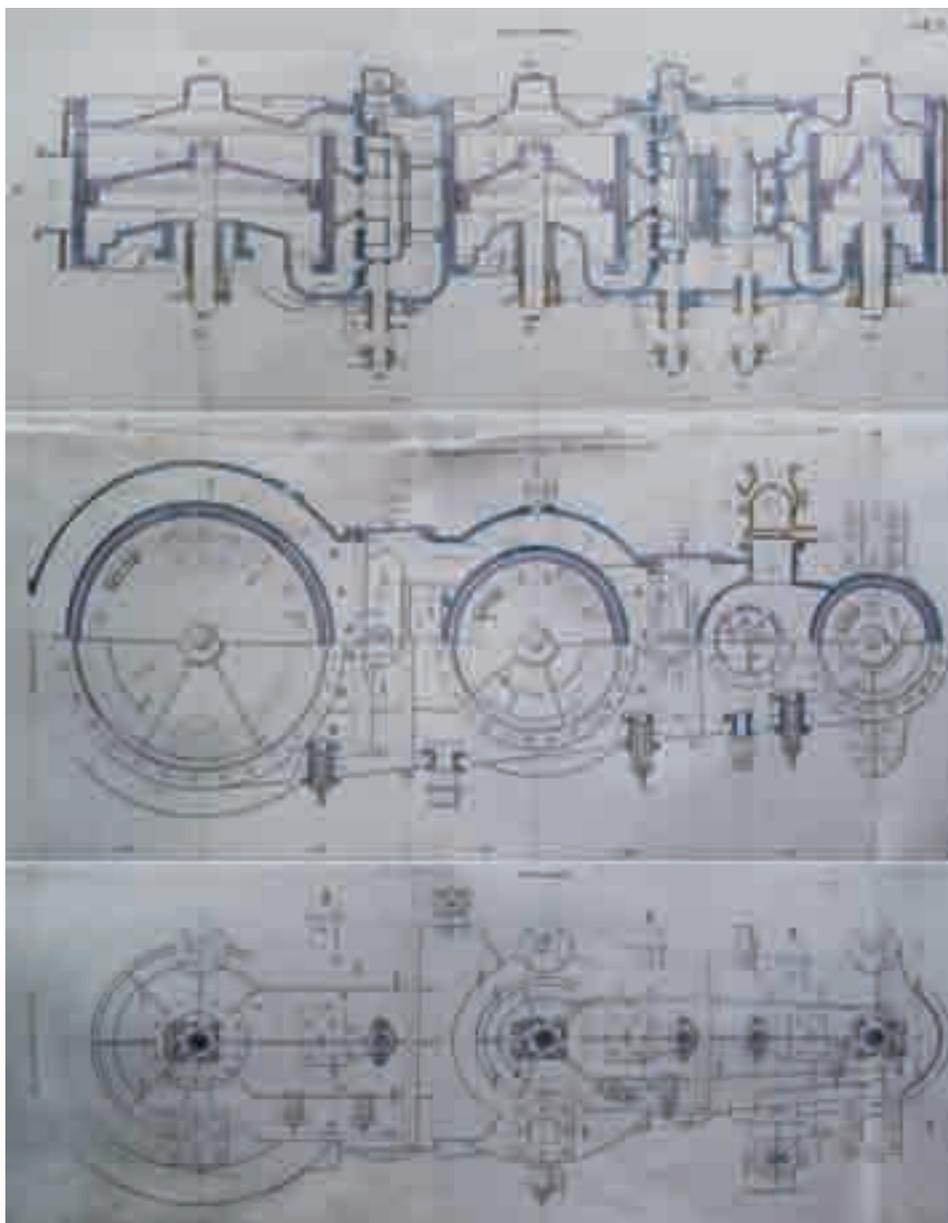
De lo anterior se desprende el uso de máquinas compuestas, pero no se precisa nada sobre su control. Al igual que La MTM, en la década de 1860 P&W llegó a tener 500 trabajadores, cantidad a la que aproximadamente llegó la plantilla de Alexander Hermanos a finales de la década de 1880. Buscando la diversificación, la empresa hispalense aceptó un importante contrato de la Marina para construir cañones de acero (1887), lo que se saldaría con un notable éxito técnico, pero no evitaría su declive empresarial (véase la fig. 4.3 en este mismo volumen). Puntualmente usó el sistema de patentes en su estrategia empresarial, pero nunca en el sector de las máquinas de vapor.

III.2.2. Otros constructores

De ningún modo el conjunto previo de empresas agota el grupo de los constructores de máquinas de vapor hispanos en el XIX, pero ofrece una primera perspectiva de las estrategias de las compañías más significativas del sector. Entre otras muchas empresas, en la misma Barcelona se pueden mencionar Talleres de Fundición y Cons-

⁷⁴ Además de Isaías White, durante un cierto tiempo, entre los diseñadores debió de tener papel relevante Mateo de la Portilla (hijo de Domingo, uno de los dos hermanos fundadores), titulado en ingeniería civil por la École Centrale des Arts et Manufactures de París en 1861, y miembro de la Asociación Nacional de Ingenieros Industriales. Probablemente aquejado de grave enfermedad, no aparece como partícipe en el capital social de la compañía en 1878; en cualquier caso, se sabe que falleció antes de 1890 (J. I. MARTÍNEZ RUIZ, 1998).

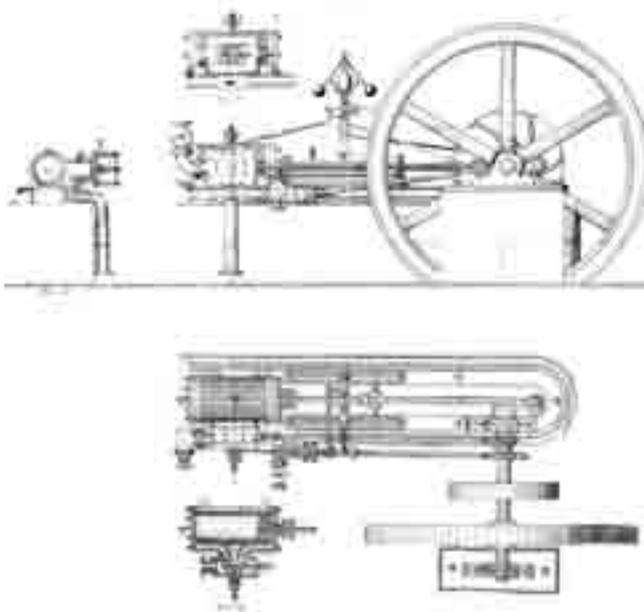
⁷⁵ En el acto previo, al que asistió la reina madre, Isabel II, estuvieron presentes por parte de la compañía Federico y Manuel de la Portilla.



12.10. Máquinas de 2.600 caballos indicados con destino al cañonero de 1.^a clase Audaz (Portilla, White y C.^a, Sevilla, 1890): *Álbum litografiado por Auto. Impr. L. Courtier, 43, rue Dunkerque, París (Biblioteca de la ETSI Navales, UP de Madrid) (Fot.: MSS). Detalles de los cilindros (elementos del plano n.º 4, de 105 × 76 cm): 1) Sección longitudinal; 2) Planta superior, la mitad representada en corte por la línea BC (los émbolos) y la mitad en vista exterior; 3) Planta inferior. Algunos datos técnicos: presión de régimen en las calderas, 9 kg/cm² (en pruebas, 15); velocidad, 210 rpm; diámetros de los cilindros: de alta 0,533 cm, de media 0,813, y de baja 1,220; carrera común, 0,533 cm; dos calderas en popa y otras dos en proa.*

trucción de Máquinas José Comas (fundada en 1830, c/ Ferlandina); Valls Hermanos (fundada en 1854, c/ Campo Sagrado), gran especialista en maquinaria para la industria agroalimentaria; Talleres de Construcción y Reparación de Máquinas Canals y Miralles (fundada en 1863, c/ Amalia); Sule, Puig y Negre (c/ Valldoncella); La Constructora de Máquinas de Andrés Oliva (San Martí de Provencals); o el Arsenal Civil de Barcelona (1891), inicialmente pensado para la construcción naval, que pronto incorporó la fabricación de máquinas de vapor a su catálogo de actividades⁷⁶.

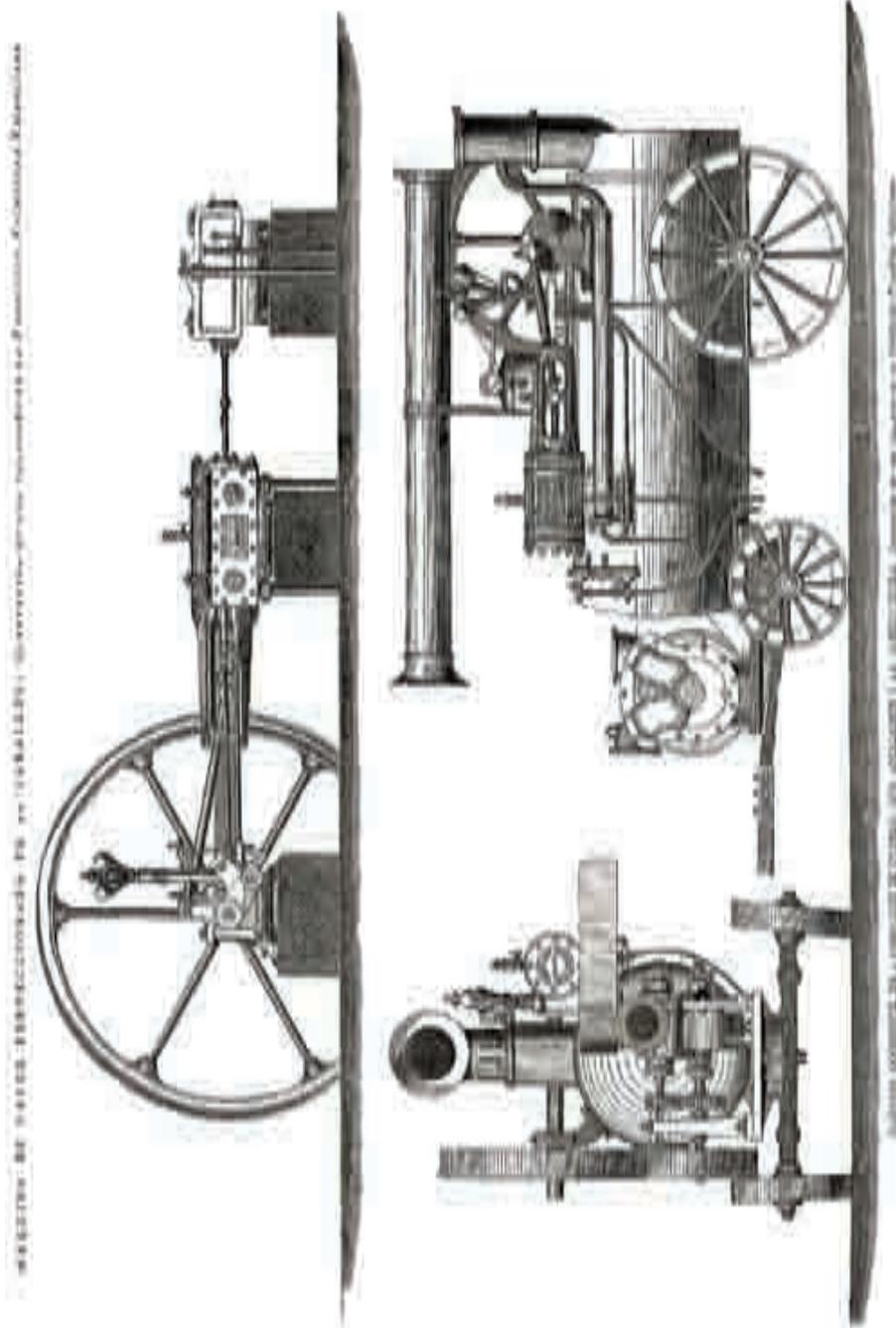
En el ámbito sevillano se sabe de constructores como la Fundición de San Antonio y la Fundición de San Clemente⁷⁷. En la *Guía de Sevilla, su provincia, etc.*, de Manuel (después Vicente) GÓMEZ ZARZUELA (1865-1896) se contempla, además, publicidad de otros talleres de construcción y reparación de maquinaria, como el de Manuel Grosso (en la plaza de Armas, antes en los Descalzos) o el de Juan Mestres (c/ Adriano), que a partir de 1889 proclama su patente de invención. En este caso se trata del expedien-



12.11. Patente de invención sobre Un regulador automático del vapor: Fue solicitada el 23-III-1886 por Juan Mestres Viñals, residente en Sevilla (AHOEPM, expediente 5.717, puesta en práctica certificada el 2-X-1888). Emplea un mecanismo que, entre otros elementos, utiliza un paralelogramo, siendo la válvula de expansión de corredera. Elementos clásicos, al parecer el mecanismo en su conjunto era eficiente.

⁷⁶ M. RODRIGO, 1999. Al igual que le había ocurrido a compañías como La MTM o P&W, la parvedad de la demanda terminó por arrastrar a la compañía a diversificar actividades, habiendo de entrar, en particular, en el sector de las construcciones metálicas, de valor añadido netamente inferior.

⁷⁷ La primera fue fundada por Narciso Bonaplata en 1840 (J. NADAL, 1983) cerca de la confluencia de las calles de Torneo y de San Vicente. En 1850 realizó las piezas de fundición del puente de Triana. Hasta la creación de P&W fue la fundición hispalense de mayor importancia. Posteriormente la propiedad pasó a Pérez Hermanos, que en 1896 realizó la célebre Pasarela sevillana. Perteneciente a la familia García-Junco, la Fundición San Clemente se instaló en ese exconvento desamortizado en 1855, que estaba ubicado en la Alameda. J. I. MARTÍNEZ RUIZ (1998, p. 91) proporciona datos parciales sobre la actividad de estos dos constructores de máquinas de vapor.



12.12. Máquina semifija y locomóvil de Fundación La Primitiva Valenciana: 1) Máquina de vapor de 40 CV, horizontal y con condensador. Volante de inercia de 5.000 kg de peso y juego de lubricadores del sistema premiado en la Exposición de Filadelfia para engrasar sus diferentes órganos; consumo, 1 kg de buena hulla por CV y hora; 2) Locomóvil de 4 CV con bomba rotativa para desagües construida para el servicio de obras publicas de Cas-tellón. Su máquina de vapor es de alta presión, admisión variable por el regulador y sin condensador. En ambos casos el cilindro va provisto de camisa de vapor y cubierta de madera. Especialidad de la casa, el sistema de admisión va accionado por un regulador isócrono, sistema Proel. (Fuente: La Academia: Semanario Ilustrado Universal, t. IV, n.º 17, 7 de noviembre de 1878, pp. 262-263.)

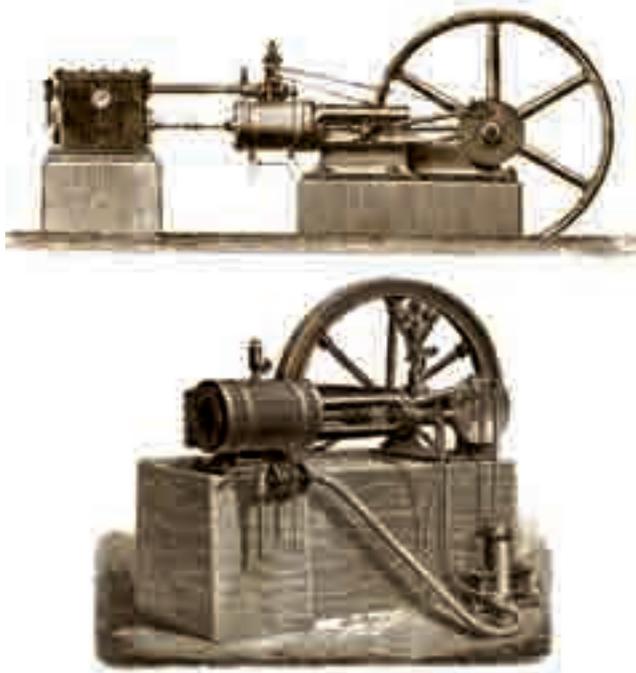
te 5.717 (solicitud del 23-III-1886), sobre *Un regulador automático del vapor* cuyo autor se identifica como «maestro, oficial, artífice, artesano». La patente tiene por objeto registrar un mecanismo que automatiza la expansión variable del vapor entre dos límites de la carrera del émbolo, buscando ajustar en cada caso el clásico equilibrio entre consumo y potencia. Para realizarlo, Mestres se centra en las piezas que componen el regulador, un paralelogramo y un mecanismo de transmisión, palancas y pesas, etc. La válvula de expansión es de tipo corredera, por lo que, verosímilmente, las potencias visadas eran modestas. Aunque la mejora se deba catalogar de incremental aditiva, la experiencia es prueba de un interés técnico-empresarial por innovar en la capital sureña.

En el Levante se puede destacar La Primitiva Valenciana (1849), evolución de La Fundición Valenciana de Hierro Colado y Bronce de Bofill y Cía. (1844), que dispuso de un amplio catálogo de productos, básicamente maquinaria para la nueva agricultura y la industria agroalimentaria. En particular, fabricaba máquinas de vapor que compitieron con las de Alexander Hermanos⁷⁸. Valero Cases Domingo entró como oficial, se hizo «profesor mecánico» y llegó a director de la empresa. En 1870 era su único propietario. En 1877 fabricaba máquinas basadas en el sistema Corliss. La empresa concurreó en 1876 a la International Exhibition of Arts, Manufactures and Products of the Soil and Mine de Filadelfia, organizada para celebrar el centenario de la independencia de los Estados Unidos. Expuesta en el Machinery Hall, su máquina de vapor semifija fue premiada con una medalla de plata «por la solidez, buena conclusión de detalles y perfección general, así como por la novedad como máquina de esta clase, que rara vez o nunca son de condensación»⁷⁹. Al año siguiente fabricó una locomóvil (4 CV), posiblemente el segundo modelo construido en España tras el malacitano de Hijos de Heredia, del que tenemos noticias en el año anterior⁸⁰.

⁷⁸ Sobre empresas que fabricaron máquinas de vapor en Valencia pueden consultarse referencias como J. NADAL: «El desarrollo de la economía valenciana en la segunda mitad del siglo XIX: ¿una vía exclusivamente agraria?», en J. Nadal y A. Carreras (dir. y coord.): *Pautas de la industrialización española, siglos XIX y XX*, Barcelona, Ariel, 1990, esp. pp. 302-305; F. A. MARTÍNEZ GALLEGU: *Desarrollo y crecimiento: la industrialización valenciana, 1834-1914*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1995; A. ÁLVAREZ RUBIO: *Valencia industrial: las fundiciones*, Valencia, Ajuntament de València, 2001. También, M. Á. SÁNCHEZ ROMERO, 2009.

⁷⁹ M. Á. SÁNCHEZ ROMERO, 2009, p. 222. En el mismo certamen se le otorgó una segunda medalla de plata por un sistema de lubricación.

⁸⁰ Véase la nota 3. En la mencionada *Crónica de la visita de S. M. el rey Alfonso XII a la ciudad de Málaga en marzo de 1877* puede leerse: «para la [locomóvil] construida en los talleres de “La Constancia”, después de estudiarse detenidamente los efectos del calor en las calderas, acordose colocar, como lo mejor y más a propósito, hornillos de paredes cilíndricas, los cuales, sobre la ventaja de ahorrar una gran suma de calórico, tienen la de su duración, que es de muchísimos años; habiéndose también conseguido realizar el problema de que el gasto de combustible sea siempre relativo a la fuerza que la máquina desarrolle a voluntad» (p. 74). Esta *Crónica* menciona a otros fabricantes, como el señor Trigueros, que presentó «muestras de maquinaria, sobresaliendo entre ellas una pequeña máquina a vapor vertical y una bomba rotativa (sistema Destriz)» (pp. 74-75). Según anuncios de la propia Gran Fundición de Hierro y Construcción de Máquinas de Tomás Triguero e Hijo,



12.13. Máquinas de vapor horizontales de alta presión y condensador, con regulador automático y expansión variable, de pequeña potencia: 1) De Vda. e Hijos de R. Sales, es sencilla y de sólida construcción, pensada especialmente para industrias agrícolas. La expansión se varía directamente a mano. (Fuente: Industria e Invenciones, 5 de abril de 1890); 2) De Vda. e Hijo de Valero Cases, es ingenio de 4 CV que se monta sobre un único sillar. Provisto con un regulador isócrono Proëll, trabaja a 4 atmósferas de presión, con admisión de 20 a 25%, consumiendo aproximadamente 1,5 kg de hulla por CV y hora, una cifra muy interesante para tan pequeña potencia. (Fuente: La Gaceta Industrial, XX, 1884, pp. 56-58).

Muerto Valero Cases (1879), desde La Primitiva se generan en 1880 dos empresas distintas: Vda. e Hijo de Valero Cases y La Maquinista Valenciana. La primera construye numerosas máquinas de vapor de bajo consumo (desde pequeñas, de 4 CV, hasta de 100 CV), incluso la primera locomotora enteramente española (1884)⁸¹. Bajo el liderazgo técnico de Francisco Climent, desde 1889 su propietario único, La Maquinista fabricará también prestigiadas máquinas de vapor del sistema Corliss (varias para centrales eléctricas), con potencias desde algunos CV a bastante más de un centenar.

Cambiando de coordenadas peninsulares, terminamos esta solo apuntada relación complementaria de fabricantes de máquinas de vapor mencionando «la renombrada casa constructora» A. Echeverría y Compañía, sita en Pasages-Ancho (Guipúzcoa), que presentó en la Galería de Máquinas de la Exposición Universal de Barcelona

Málaga, en 1878 la empresa se proclama constructora de «máquinas de vapor fijas y locomóviles» (L. MUÑOZ: *Guía de Málaga y su provincia*, 1878). Fundada en 1853 sobre la base de una compañía previa, fue especialista en maquinaria para el sector agroalimentario y agrícola. Tomás Triguero (hijo) se graduó en 1871 como ingeniero en la École Centrale de París. Perteneció a la Asociación Nacional de Ingenieros Industriales.

⁸¹ Fue construida para la Compañía del Ferrocarril Silla-Cullera y las pruebas se desarrollaron en abril de 1884 (J. M.^a ALONSO VIGUERA, 1961). Maquinista del viaje inaugural, el hijo, Ramón Cases Civera, ingeniero industrial (EII de Barcelona, 1880), depositó varias patentes, aunque ninguna relacionada con las máquinas de vapor o los motores de gas.

de 1888 una máquina de 74 CV, expansión variable y condensación, con cilindro protegido por camisa de vapor, que trabajaba a 5 atmósferas⁸².

En resumen, si bien los inicios de las realizaciones en lo concerniente a la propulsión naval o la motorización de la industria no fueron tan tardíos como los de la fabricación de locomotoras, se aprecia un retraso sobre lo que acaece en el exterior que no es fácil cuantificar. Como orden de magnitud en el último cuarto de la centuria, valgan una, máximo dos décadas (en el segundo caso, el tiempo máximo en que las patentes innovadoras pasan a ser de dominio público). Pero posiblemente el problema fundamental fue la cortedad de las series de producción de máquinas debido a una baja demanda y a que, salvo excepciones, las potencias eran relativamente modestas con respecto a lo construido en los países líderes en la Revolución Industrial. Atenuante mayor a la situación, incluso eximente, son las difíciles condiciones en las que, por razones político-económicas, hubo de operar el sector hasta bien entrada la Restauración, todo ello frente al apoyo que recibieron las compañías foráneas.

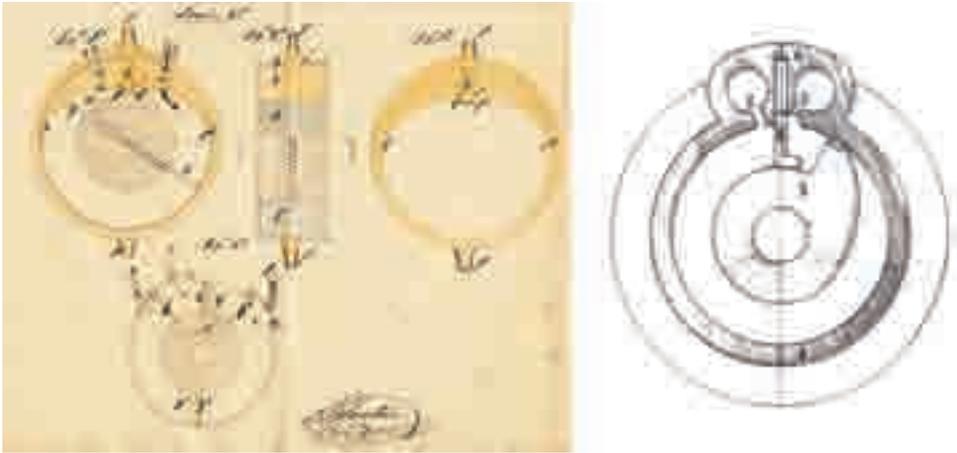
III.3. *Las máquinas de vapor rotativas: precedentes de las turbomáquinas*

En las máquinas rotativas de vapor se elimina el movimiento alternativo del pistón y se genera directamente uno puramente rotacional del eje. Exceptuada la motorización de bombas de émbolo para el trasiego de líquidos, es precisamente lo buscado en una gran mayoría de aplicaciones. Como señala R. R. AMENGUAL (2008, p. 64), «en cierta manera, y siguiendo [un] símil evolutivo, estos dispositivos podrían considerarse como un escalón intermedio entre las máquinas de vapor alternativas y las turbomáquinas de vapor».

En enero de 1858, Valentín Silvestre Fombuena, maquinista ferroviario y residente en Madrid, solicita privilegio de invención por cinco años para su *Sistema de cilindros de vapor con movimiento de rotación* (privilegio 1.680). Su certificado de puesta en práctica es de marzo de 1860, y su caducidad, por fenecimiento, de septiembre de 1863. Muy sucintamente, el dispositivo funciona de este modo: el vapor entra en el cilindro por el conducto de admisión y va llenando la cámara existente entre el pistón y el cilindro; en ese momento el pistón empieza a girar en sentido horario por la fuerza que ejerce el vapor hasta que alcanza un tope. El vapor abandona la máquina por la lumbrera de escape y el ciclo se repite.

Una máquina de vapor (exp. 1.007, junio de 1880) es el segundo registro de este ámbito que aquí se recoge. Fue depositado como patente de invención por veinte años por José Pascual Yvars y Crespo, residente en Jávea (Alicante). No obstante, su solicitud fue declarada sin curso. La máquina (fig. 12.14.1) consta de un cilindro horizontal fijo en cuyo interior evoluciona un eje concéntrico y de perfil

⁸² El taller de fundición y construcción de máquinas fue fundado en Lasarte en 1855 por Eduardo Fossey; después adquirieron las razones sociales Fossey y Compañía, y más tarde, Goicoechea y Compañía. En 1888 ocupaba a entre 90 y 100 operarios (N. de BUSTINDUY VERGARA: *Guipúzcoa en la Exposición Universal de Barcelona de 1888*, San Sebastián, Impr. de la Provincia, 1888).



12.14. Dibujos de máquinas de vapor con pistón rotativo: 1) Del privilegio real de invención solicitado en 1858 por Valentín Silvestre Fombuena, residente en Madrid (exp. 1.680, AHOEPM); 2) De la patente solicitada en 1880 por Pascual Yvars y Crespo, residente en Játiva (exp. 1.007, AHOEPM).

variable como una leva. A través de una válvula (*D*) se controla la admisión del vapor. Gracias a la geometría de la cámara el vapor impulsa el eje central hasta el momento en que se pone en contacto con el escape (*E*), a presión atmosférica, instante en que comienza un nuevo ciclo.

Aunque las turbomáquinas no aparecieron hasta finales del siglo XIX, la idea de emplear la fuerza del vapor para mover una turbina como si fuese hidráulica está documentada décadas antes, incluso en España. Entre las solicitudes de privilegios y patentes de residentes que podrían considerarse antecedentes de estas turbomáquinas se encuentran las de Charles Gray, mecánico británico vecino de Cartagena (*Máquina motor a vapor de nueva idea*, privilegio 1.467, solicitado en agosto de 1856), que caducó rápidamente sin llegar a ponerse en práctica, y la del identificado como químico Escolástico García (*Máquina de vapor. Aplicación del vapor como fuerza motriz*, privilegio 1.966, solicitado en octubre de 1859), que tuvo análogo curso al caso anterior.

Será más de un cuarto de siglo después, en 1884, cuando el ingeniero británico Charles Parsons registre sus patentes básicas en Reino Unido. En noviembre de 1888 inscribió dos en España, pero ninguna fue puesta en práctica en nuestro país; tampoco hubo constructor que las registrara como de introducción. En el primer lustro de la década de 1890 el prolífico inventor sueco Carl Gustaf Patrik de Laval depositará varias patentes en España sobre un tipo alternativo de turbina. Según el modo de actuar el vapor sobre los órganos del ingenio, en primera instancia las turbinas se pueden clasificar en *de acción y reacción*, grupo al que pertenecen las Parsons, «aplicadas hoy día en gran escala a la navegación», y *de acción*, grupo al que pertenecen

las del tipo Laval, «muy empleadas para accionar dinamos, bombas, ventiladores, etc.»⁸³. No muy significativa, en España la innovación en el mundo de las turbinas de vapor será cosa del siglo xx. Análogo comentario se podrá aplicar a las posteriores turbinas de gas⁸⁴.

III.4. *Los motores de aire caliente*

Los motores de aire caliente pueden contemplarse como ingenios de transición entre las máquinas de vapor alternativas y los primeros de combustión interna alternativos⁸⁵. No llegaron nunca a suponer una opción real frente a la máquina de vapor, aunque tuvieron cierta difusión en los Estados Unidos. Sus objetivos básicos eran, por un lado, disponer de ingenios menos peligrosos (eliminando el riesgo de explosión de las calderas), silenciosos y de más fácil manejo; por otro, obtener un mayor salto de presiones (salto térmico), buscando, por tanto, un mayor rendimiento. Máquinas de simple efecto, las dificultades técnico-constructivas hicieron que el rendimiento real de estos ingenios distase realmente del teórico.

El ciclo termodinámico teórico de la máquina concebida por el reverendo escocés Robert Stirling (1816), formada por dos cilindros con sus respectivos pistones, está constituido por dos isotermas y dos isocoras: compresión isoterma a baja temperatura, calentamiento a volumen constante, expansión isoterma y enfriamiento a volumen constante. Caldeado externamente, un cilindro es el foco caliente, mientras que el otro opera como foco frío. En su interconexión se aloja un «regenerador», un intercambiador de calor, acumulador y preacondicionador térmico, pensado para alternativamente absorber calor (reenfriar el flujo de aire caliente) y cederlo (recalentar el que lo atravesaba en sentido contrario) en las evoluciones isocoras del ciclo⁸⁶. Normalmente constituido por varillas y telas metálicas (buen conductor con gran superficie de intercambio de calor), el regenerador contribuye esencialmente a ahorrar energía. Si su eficiencia fuese del 100%, el rendimiento termodinámico teórico podría llegar a ser máximo, idéntico al de las máquinas de Carnot. No obstante, a pesar de las ventajas anunciadas, «además de la rápida destrucción de las telas metálicas por oxidación, hay el inconveniente teórico de una contrapresión debida a la resistencia que el aire encuentra al pasar por ellas»⁸⁷.

Entre las alternativas propuestas está el *motor calórico*, debido a John Ericsson, prolífico inventor de origen sueco que trabajó intensamente en los Estados Unidos e

⁸³ E. AGACINO, 1912.

⁸⁴ Sobre las patentes relativas a turbomáquinas de vapor véase el documentado análisis de R. R. AMENGUAL, 2008, pp. 175-207. Las de gas (o de explosión) se consideran en las páginas 207-223.

⁸⁵ R. R. NELSON y S. G. WINTER: *An evolutionary theory of economic change*, Cambridge (Massachusetts), The Belknap Press of Harvard University Press, 1982.

⁸⁶ Dicho de otro modo, teóricamente, para contribuir sustantivamente a los saltos térmicos entre las temperaturas superior e inferior, sin aportación externa de calor.

⁸⁷ Se entiende que por las varillas y telas del regenerador (G. de VICUÑA, 1872*b*, p. 79).

investigó sobre este tipo de máquinas durante décadas. El modelo que incorporaba las mejoras introducidas en 1858 alcanzó un significativo éxito. Inmediatamente solicitó privilegio en España para una *Máquina de calórico, que reemplaza en muchos casos a las de vapor* (privilegio 1.907, junio de 1859)⁸⁸, cuyo ciclo teórico operaba entre dos isobaras y dos isotermas⁸⁹. Pero lo que aquí interesa es apuntar que en marzo de 1865 el teniente del Cuerpo de Artillería Guillermo Reinlein y Seguera registró en España el privilegio de invención titulado *Tres variaciones para la máquina de aire caliente de Mr. Ericsson* (exp. 3.085). Al año siguiente (diciembre de 1866, siendo ya capitán) se vio completado por otro denominado *Sistema de variaciones con aplicación a las máquinas de aire caliente de Ericsson* (privilegio 4.268). Según VICUÑA (1872b, p. 79), se trata de «una de las mejores modificaciones, entre las muchas que se han hecho».

El inventor hispano propone tres cambios principales⁹⁰. En primer lugar, disponer la máquina en sentido vertical, con lo que se reduce el rozamiento que ocasiona el peso de los émbolos si el cilindro se coloca horizontalmente, al mismo tiempo que su propio peso regulariza el movimiento (se opone al ascenso, ayuda al descenso). En segundo lugar, Reinlein propone un cambio en la situación del hornillo, emplazándolo en el centro de la base del calentador. Esta modificación mejora la duración de la máquina, ya que conlleva mayor uniformidad y prontitud en el calentamiento del aire. De este modo, la campana se caldea por la radiación directa del combustible y el calor se distribuye con regularidad, lo que origina dilataciones más uniformes y, por tanto, menos roturas. Pero es la tercera modificación la que tiene más importancia, estando relacionada con algunas alteraciones en la disposición de la válvula de escape:

En la máquina de Ericsson se halla la válvula de escape sujeta al cilindro, y el aire caliente, después de ejercida su acción sobre el émbolo motor y procurar su salida a la atmósfera, tiene que hacerlo retrocediendo al calentador; y como su temperatura es ya inferior a la de este, le roba una nueva cantidad de calor, al propio tiempo que, volviéndose a calentar el aire, se dilata de nuevo y origina una contrapresión contraria al trabajo útil. En la máquina reformada [de Reinlein] la disposición de esta válvula es más racional, evitando los defectos antedichos y el desagradable ruido periódico producido por la de Ericsson. Resulta, pues, la doble ventaja de economizar combustible y aumentar el efecto producido. Y pues el aire que ha trabajado no vuelve al calentador, se puede aumentar la longitud de este cuanto se quiera o poner una segunda camisa para ganar una gran superficie de caldeo.

⁸⁸ Poco antes la había patentado en Estados Unidos (ref. US22 2.181). En noviembre de 1860 se depositó un segundo privilegio (exp. 2.181): *Máquina calórica de Ericsson mejorada*, por J. Ericsson y Pesant Hermanos & Cía.

⁸⁹ Su descripción textual y gráfica puede verse en N. VALDÉS (1870, pp. 520 y ss.) y G. de VICUÑA (1872, pp. 74 y ss.).

⁹⁰ En G. de VICUÑA (1872b, pp. 79-85) se recogen en expresión del propio inventor, algo previamente publicado en *La Gaceta Industrial* (1868, p. 282); en forma resumida, en N. VALDÉS (1870, pp. 524 y ss.).

Hay, además, en la calórica de Ericsson la desventaja de que la elevada temperatura ocasionada en la parte entre que juegan los émbolos obliga a emplear como lubricante una mezcla de sebo y aceite que, a más de ensuciar mucho la máquina, dificulta los movimientos y contribuye a que se pierda rápidamente la fuerza de la misma. En la disposición vertical existe un depósito de agua fría abierto en la parte superior que rodea al cilindro de trabajo, manteniéndole a baja temperatura para que no se evapore el aceite, única materia lubricante empleada, más económica y con menos inconvenientes⁹¹.

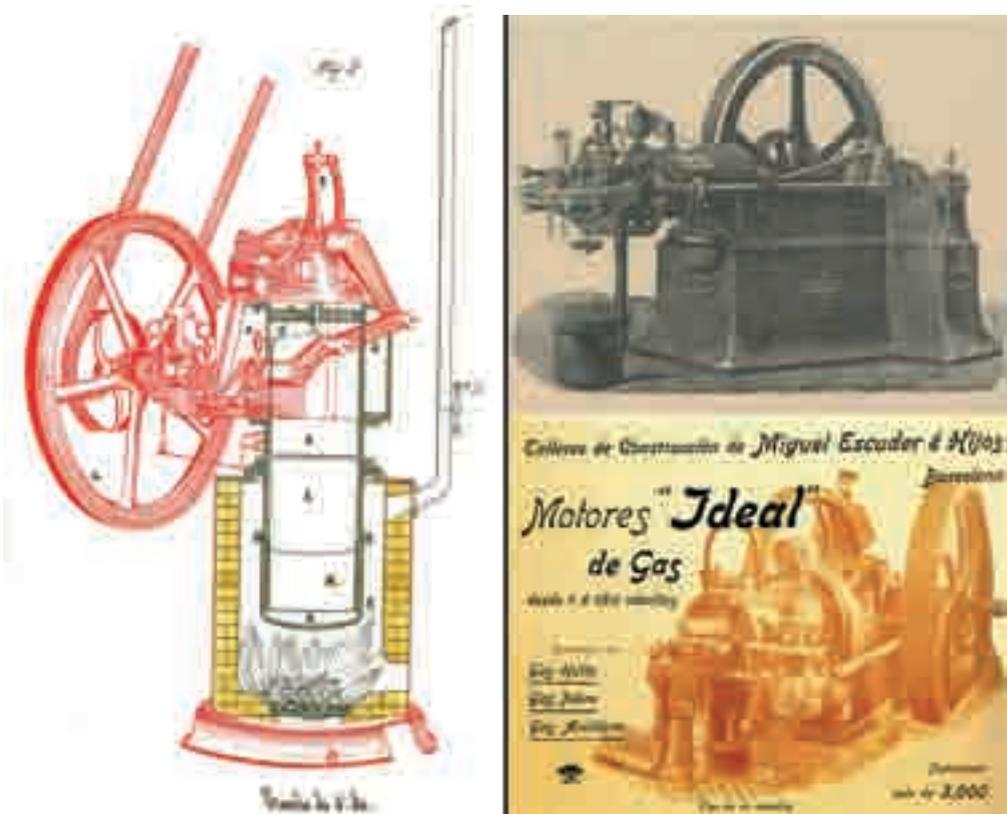
El propio Reinlein hace sus previsiones sobre las mejoras que supondrán sus innovaciones técnicas: un 30% de ahorro de combustible y un 50% más de efecto útil que la horizontal de Ericsson, pero, como se anunció previamente (fig. 12.4), Vicuña solo se atreve a afirmar que «se ha construido en Barcelona alguna [...], pero no conocemos los datos prácticos relativos a ensayos continuados sobre estas máquinas». Nosotros tampoco. Sin embargo, matiza:

En las pruebas que se han hecho, se han notado economía y las demás ventajas de las máquinas de aire caliente sobre las de vapor; pero no sabemos si se han observado durante varios meses de trabajo consecutivo para examinar a conciencia la marcha de su mecanismo, que exige una excelente construcción si ha de funcionar sin entorpecimientos⁹².

La segunda y última propuesta hispana de motor calórico (de aire y por combustión externa en un hogar) sorprende por lo tardía y por quien deposita la patente de invención (cinco años). El personaje es Miguel Escuder Castellá, habilidoso mecánico formado en La MTM, sobre el que volveremos; baste apuntar de momento que a comienzos de la década de 1880 ya fabrica con regularidad motores Otto horizontales, es decir, de combustión interna con compresión, de indiscutible interés y rendimiento. La patente de invención que nos ocupa, por *Un motor calórico* (exp. 6.426), fue solicitada en noviembre de 1886. Se trata de un motor de cilindro vertical que emplea dos émbolos, «el motor», que transmite la potencia al árbol, y el «desalojador». Debajo del cilindro se dispone de un hogar que caldea el aire en su zona inferior, «el generador». Al calentarse, el aire empuja el émbolo motor hacia arriba y procura el trabajo deseado. Ahora bien, su vástago es hueco y contiene el del émbolo desalojador, que termina dejando pasar el aire caliente a la parte superior, donde una camisa de agua que hay en ese tercio del cilindro lo enfría, permitiendo al mismo tiempo que el émbolo motor baje. Después el desalojador ascenderá y el aire retornará a la parte inferior, el generador. Así se calienta de nuevo y se cierra un ciclo que, como se puede observar, funciona en circuito cerrado con una masa de aire que es sucesivamente calentada y enfriada. Se puede decir que la principal diferencia con las patentes de Ericsson radica en la existencia de una camisa de agua, como las que se usan en los motores de combustión interna, que aumenta la eficiencia de la máquina al bajar la

⁹¹ N. VALDÉS, 1870, p. 525.

⁹² G. de VICUÑA, 1872a, p. 37.



12.15. Motores de combustión externa e interna de Miguel Escuder: 1) Calórico vertical (patente de invención 6.426, solicitada en noviembre 1886, AHOEPM). El cilindro B-B' contiene el émbolo motor; C, y el «desalojador», E (su vástago, D, pasa por el centro del vástago del primero). «Se han representado con tinta encarnada todos los órganos de la máquina». A es la camisa de enfriamiento por agua; 2 y 3) Tipo Otto, ingenios que empezó a construir bajo la patente de introducción 157, «Una máquina motor a gas atmosférico sistema "Otto" horizontal» (solicitada en diciembre de 1878, su puesta en práctica fue certificada en diciembre de 1881). Realizados inicialmente en pequeñas potencias, en el período 1878-1887 los anuncia desde 1 a 12 CV (Barcelona y sus alrededores: guía histórica, descriptiva y estadística del forastero, 1887) argumentando: «Fáciles de cuidar, no necesitan maquinista, no hay peligro de explosión y son ventajosos a otro motor conocido por su poco gasto y solidez». En el de la parte superior, una placa proclama que se construye con «privilegio exclusivo». El motor del anuncio inferior es de 40 CV. (Fuentes: «Motor sistema Escuder», Industria e Inventiones, julio de 1897; motor marca Ideal, de Miguel Escuder e Hijos, España Comercial e Industrial: Álbum Artístico, 1902).

temperatura del foco frío. En el expediente se afirma que «con el empleo de este cilindro se pueden construir máquinas calóricas de grandes potencias, que resultan económicas en el gasto de combustible», lo que nos parece relativamente dudoso. Dicho de otro modo: ¿por qué alguien que conoce bien los motores Otto, de los que fabrica variantes diversas, «apuesta» por una máquina calórica, tipo de ingenio prácticamen-

te desplazado por la aparición de los motores de combustión interna, de mucha mayor eficiencia? Puesta en práctica (certificación de mayo de 1889), lo que resulta claro es que ni siquiera se mantuvo la patente los cinco años solicitados, pues se dejaron de pagar las tasas en la tercera anualidad. ¿Exploración de nuevas vías técnicas, intentando mejorar otros motores conocidos?, ¿o búsqueda de argumentos comerciales para la imagen de marca de la empresa? Esto requeriría de un estudio complementario que desborda los objetivos del capítulo.

III.5. Los motores de combustión interna

La industria del alumbrado y las fábricas de gas se difundieron en las ciudades europeas alrededor de 1850, estimulando la idea de aprovechar este combustible como fuente energética. Ello dio lugar a los primeros motores de gas. Con los conocidos como «de gas detonante» o de explosión, surgieron nuevos problemas técnicos (de generación y manipulación de combustibles, de ignición —con chispa eléctrica o llama—, de control o de enfriamiento, por ejemplo) y, aunque su eficiencia era casi el doble que la de las máquinas de vapor, también consumían un combustible inicialmente varias veces más caro.

III.5.1. Sin compresión previa

En la búsqueda de un motor sin caldera, pequeño y ligero destaca la propuesta de Jean-Joseph-Étienne Lenoir (1822-1900). Belga afincado en Francia, en 1860 presentó su idea, una suerte de trasposición de la máquina de vapor: un motor con un cilindro de doble efecto y distribución por corredera en el que a mitad del recorrido del émbolo se provocaba, mediante chispa eléctrica, la ignición de una mezcla de aire atmosférico con un gas inflamable. La explosión aumentaba la presión, que se transmitía al pistón durante la mitad restante de la carrera. La evacuación de los productos de la combustión se producía en otra carrera completa, y así se cerraba el ciclo. Refrigerado por agua, desarrollaba una potencia de unos 2 CV a 100 rpm. De comportamiento irregular e ineficiencias varias, alcanzaba mejores prestaciones que las máquinas de vapor del mismo tamaño, aunque no existen evidencias de que se logaran potencias superiores a los 12 CV.

Lenoir solicitó en España protección para su ingenio *Motor de aire dilatado con la combustión de los gases por medio de la electricidad* (exp. 2.140, septiembre de 1860)⁹³ mediante privilegio de invención por cinco años. Caducó en enero de 1862 por falta de puesta en práctica en nuestro país, aunque hay constancia de que se abonaron las primeras tasas anuales⁹⁴. No obstante, debido al coste del gas del alumbrado

⁹³ No se conserva su memoria descriptiva.

⁹⁴ Un cuarto de siglo después, en enero de 1885, Lenoir registró otra patente sobre máquinas térmicas en España: *Un motor agrícola, locomóvil, funcionando por medio del aire carburado o por el gas del alumbrado* (exp. 4.750). Se puso en práctica en Madrid, en los talleres de Fundición y Construcción de Máquinas de San Rafael, en junio de 1887, y fueron abonadas diez anualidades, hasta 1895, año en que caducó.

do, los resultados económicos no fueron siempre los esperados. Incluso hubo empresarios que llegaron a desmontar o reconvertir al vapor sus motores de gas.

En este marco, se hacía necesario disponer de un combustible que resultara más económico, abaratamiento que llegó con la fabricación de gas pobre⁹⁵, lo que potenció la aparición de los gasógenos aplicados a los motores. En este ámbito técnico han de resaltarse las aportaciones del reverendo Jaime de Arbós y Tor (1824-1882), que entre 1852 y 1867 solicitó cinco privilegios de invención. Excluido el primero, de los demás existe acreditación de su puesta en práctica. Aquí interesa particularmente su *Procedimiento para obtener una mezcla gaseosa aplicable como motor en las máquinas fijas o móviles y otros usos*⁹⁶, ya que inequívocamente permite atribuirle la invención del gasógeno de aspiración⁹⁷. Empleando cisco u otra substancia carbonosa de origen vegetal, en su gasógeno no había que insuflar aire ni inyectar vapor, ya que aprovechaba la propia aspiración del motor. Para enriquecer la mezcla gaseosa, la adicionaba

con un hidrocarburo en forma de vapor [brea, aceite de resina, petróleo u otras materias grasas] para que comunicara brillo a su llama o con cierta cantidad de gas de alumbrado, adquiriendo de este modo condiciones propias para aplicarlo no solo a dicho motor sino como agente de calefacción y alumbrado⁹⁸.

«En cualquier caso, se trataba de un combustible especialmente rentable, ya que, al parecer, su autor consiguió prepararlo con una reducción del precio de coste del 75%» (P. BERNAT, 2003, p. 62). Como referencia sobre el aprecio a la aportación de Arbós, el ingeniero italiano Vittorio CALZAVARA (1908, p. 160) afirma:

⁹⁵ Gas con poder calorífico muy bajo. Se obtiene a partir de un sustrato carbonoso (biomasa, carbón vegetal o mineral...) mediante una serie de reacciones termoquímicas que tienen lugar en presencia de un agente gasificante como pueden ser el aire, el vapor de agua o una mezcla de estos.

⁹⁶ Privilegio solicitado en octubre de 1862 (exp. 2.570, AHOEPM), consta su puesta en práctica en Barcelona en septiembre de 1863. Sobre su estructura y su funcionamiento, en esta misma colección, R. R. AMENGUAL y M. SILVA, 2007, pp. 242-243 (la fig. 3.4 reproduce dibujos del privilegio); v. también R. R. AMENGUAL, 2008, pp. 80-81. Obsérvese que el privilegio español de Lenoir caducó por falta de puesta en práctica en España en enero de 1862, antes de que Arbós presentase su invención.

⁹⁷ En 1862 Arbós en Cataluña y Trebouillet en Francia idearon los primeros gasógenos. Mientras que el del catalán se basa en un sistema de *aspiración*, el del francés se fundamenta en un mecanismo de *inyección*. En el segundo caso se obtenía el gas pobre inyectando una corriente de vapor de agua sobrecalentado por encima de una capa de carbón vegetal incandescente. Sobre la vida y la obra de Arbós véase P. BERNAT (2003); también, F. BARCA *et al.*: «La invención del gasogen d'aspiració. Jaume Arbós i Tor (1824-1882), un científic oblidat», en V. Navarro Brotóns *et al.* (coords.): *Actes de les II Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica (Peñíscola, 1992)*, Barcelona, SCHCYT, 1993, pp. 123-130.

⁹⁸ R. MANJARRÉS: «Discurso necrológico del Dr. D. Jaime Arbós y Tor, leído en sesión pública celebrada el día 15 de marzo de 1885», en RACAB: *Nómina del personal académico, 1914-1915*, Barcelona, A. López Robert, 1915, pp. 72-96, esp. pp. 85-86. Citado por Pascual BERNAT, 2003, p. 62.

En 1862, Jaime Arbós, profesor de Barcelona, patentaba un motor de gas que formaba un solo grupo con el gasógeno; la idea era acoplar directamente el motor al aparato productor del gas que la máquina debía consumir en mezcla detonante adicionada de vapor de agua, cuya tensión se agregaba a la de la explosión.

Arbós es, pues, el inventor de los gasógenos de aspiración, con los cuales en realidad se simplifica mucho el problema, puesto que permiten la supresión del gasómetro y de los depuradores químicos y hacen que la producción de gas sea proporcional a las necesidades del motor.

La idea de Arbós en 1862 fue prematura; pero hoy día, que este nuevo sistema va adquiriendo un dominio cada vez mayor, es un deber de justicia para el historiador dedicar a Arbós un merecido recuerdo, tanto más cuanto que muchas de las ideas de Arbós han sido después llevadas al campo de la práctica con un éxito digno del hombre que con admirable intuición las había concebido.

En lo que concierne al motor propiamente dicho, el presbítero considera un concepto muy similar al de Lenoir, pero su privilegio no ofrece una descripción suficientemente detallada, por lo que es difícil entrever las posibles diferencias⁹⁹.

Para terminar, valga apuntar que en 1868 salía al mercado el *Motor atmosférico de Otto & Langen*. Realizaba en torno a 90 explosiones por minuto y desarrollaba hasta 3 CV, pero no resultaba práctico en formatos de superior potencia (al trabajar bajo la presión atmosférica, para incrementarla había que ampliar las dimensiones de sus cilindros). No abundamos en detalles al respecto, pues esta invención «es conceptualmente muy parecida al motor de Lenoir de 1860 y al de Arbós de 1862, ambos muy próximos a la fecha de presentación»¹⁰⁰. Tras varios años trabajando en ideas alternativas, en 1876 Nicolaus August Otto (1832-1891) da a luz su *Motor silencioso*, auténtico punto de inflexión hacia los motores de explosión «modernos».

III.5.2. Con compresión previa

El *Motor silencioso* opera con base en los cuatro tiempos bien conocidos para la mayoría de los motores de explosión actuales: admisión, compresión, explosión (merced a un proceso de ignición) y expulsión de los productos de la combustión. En el nuevo ingenio de Otto «el cilindro desempeña el doble papel de bomba de compresión y motor: para cerrar el ciclo son necesarias dos revoluciones del árbol motor y, por consiguiente, cuatro golpes de émbolo de los cuales solo uno comunica al árbol de transmisión un impulso motor»¹⁰¹. Fue un gran éxito comercial. Inspiró ingenios con cilindros horizontales y verticales, grandes y pequeños, en muy diversas configuraciones. Hacia 1876 desarrollaban unos 3 CV a 180 rpm; en 1881 el de mayor potencia tenía unos 20 CV, pero hacia 1895 los hubo de unos 1.000, aunque en la mayor parte de las ocasiones su mejora en eficiencia no compensaba el ingente gas-

⁹⁹ R. R. AMENGUAL MATAS, 2008, p. 81.

¹⁰⁰ *Ibíd.*, p. 83. Sobre la descripción del motor, pp. 82-85.

¹⁰¹ V. CALZAVARA, 1917, p. 16.

to en la generación del gas combustible. Un rasgo limitativo del motor de Otto era que, en promedio, pesaba del orden de un centenar de kilos por caballo de potencia.

Dicho lo anterior, en 1884 Otto tendrá que afrontar un problema empresarial mayor, dado que se divulgó la existencia de la patente francesa de Beau de Rochas de 1862¹⁰². Los competidores solicitaron la nulidad de la de Otto por falta de novedad, lo que consiguieron en la misma Alemania en 1886, pero no en otros sitios, como Reino Unido o Estados Unidos, por ejemplo¹⁰³.

En España, La Fábrica de Motores para Gas (*Gasmotorenfabrik*), impulsada por Otto y con la colaboración de ingenieros como Langen, Daimler o Maybach, deposita en junio de 1876 el privilegio de invención 5.479 sobre una *Máquina perfeccionada para gas*. Su tramitación y su puesta en práctica en España no fueron correctas, a pesar de que inicialmente contó con informe favorable. Se trata de un complejo proceso que contempla una real orden de octubre de 1878 con la caducidad del privilegio y otra con la restauración de este en julio de 1879. Pero, entre tanto, el mencionado industrial catalán Miguel Escuder, fabricante de máquinas de coser La Aurora, solicitó en diciembre de 1878 dos patentes de invención por cinco años (exps. 157 y 158), ambas concedidas en febrero de 1879, meses antes de la restauración de la suya a la empresa germana: *Una máquina motor a gas atmosférico sistema «Otto» horizontal* (su puesta en práctica fue certificada en diciembre de 1881; caducó por fenecimiento en febrero de 1884) y *Construcción de una máquina sistema «Otto» vertical* (que no fue puesta en práctica). Con base en la primera, desde 1879 Escuder fabricó motores tipo Otto en Barcelona. Obviamente, la Gasmotorenfabrik acudió a los tribunales españoles contra el fabricante catalán, pero sin éxito alguno. En suma, se trata de una actuación más encuadrada en la historia de la industria que en la de la técnica. Si bien los primeros motores de cuatro tiempos en España fueron alemanes, y algunos quizás a través de la licenciada Crossley Brothers¹⁰⁴, puede afirmarse que a partir de 1879 también fueron fabricados en España¹⁰⁵.

¹⁰² Depositada en Francia en enero de 1862 (exp. 52.593), se trata de una extensa (151 pp.) y compleja patente estructurada en capítulos, con algunos realmente variopintos, en la que (cap. 2) se habla de «Motor mixto a vapor y a gas. Dispositivo con compresión previa» (pp. 45-49). Por primera vez se describe el ciclo teórico del motor de cuatro tiempos, aunque no consta que construyera motor alguno de acuerdo con ese principio.

¹⁰³ La patente de Beau de Rochas y los problemas de registro de las patentes de Otto, entre otros aspectos, se describen minuciosamente en el capítulo 3 de R. R. AMENGUAL, 2008: «La carrera por el motor de combustión interna» (pp. 87 y ss.).

¹⁰⁴ Sobre la relación de la germana Gasmotorenfabrik y la británica Crossley, así como acerca de la relación de esta última con España, véase J. M.^a ORTIZ-VILLAJOS, 2009.

¹⁰⁵ Como apunta J. NADAL (1991, p. 185), «El 21 de mayo de 1881 una revista técnica madrileña asegura tener pruebas del buen funcionamiento de 104 motores de gas Escuder en toda España. En 1885, el catálogo de la Exposición Aragonesa afirma que hay “unos 300 en Madrid, más en Barcelona y también una cantidad considerable en otras capitales”. En 1902, los anuncios que aparecen

Francamente, llama la atención el que los grandes constructores hispanos de máquinas de vapor no se incorporaran con agilidad a la fabricación de los ingenios que representaban el cambio de paradigma técnico en el dominio. Así, por ejemplo, La MTM no los introducirá en su catálogo hasta 1902, muy tardíamente, empleando análoga estrategia a la adoptada para las grandes máquinas de vapor construidas para la Marina a partir de finales de la década de 1880, ahora bajo licencia de la suiza Winterthur¹⁰⁶. Pero el panorama esbozado sería muy incompleto sin apuntar la existencia de pequeños constructores que, con mayor o menor fortuna, innovaron sobre los motores Otto. A continuación consideramos tres. Sus soluciones técnicas podrían calificarse de «incrementales aditivas», pero es significativo el que nuclearan actividades productivas¹⁰⁷. Por otro lado, valga apuntar que, aunque el motor diésel se patentó en España en 1894¹⁰⁸, no hemos localizado constructores autóctonos que innovaran sobre este motor en el siglo XIX. Tampoco hemos detectado patentes significativas de residentes en España sobre motores de dos tiempos, a pesar de que el primero satisfactoriamente construido lo fue en 1878 (patentado en Inglaterra en 1881) por el ingeniero Dugald Clerk (1854-1932)¹⁰⁹.

La patente de invención por veinte años de la razón social **Bertrán Hermanos y Esteve**¹¹⁰ concierne a *Un nuevo motor de gas* de alumbrado de tipo vertical, de bajo

en la prensa especializada hablan de más de 3.000 motores de gas de hulla, gas pobre y gas acetileno de la marca *Ideal*, que es la que finalmente adopta Miguel Escuder e Hijos para su máquina. Si fuera cierta esta última cifra, significaría que el constructor catalán ha logrado proveer una parte considerable del mercado español.

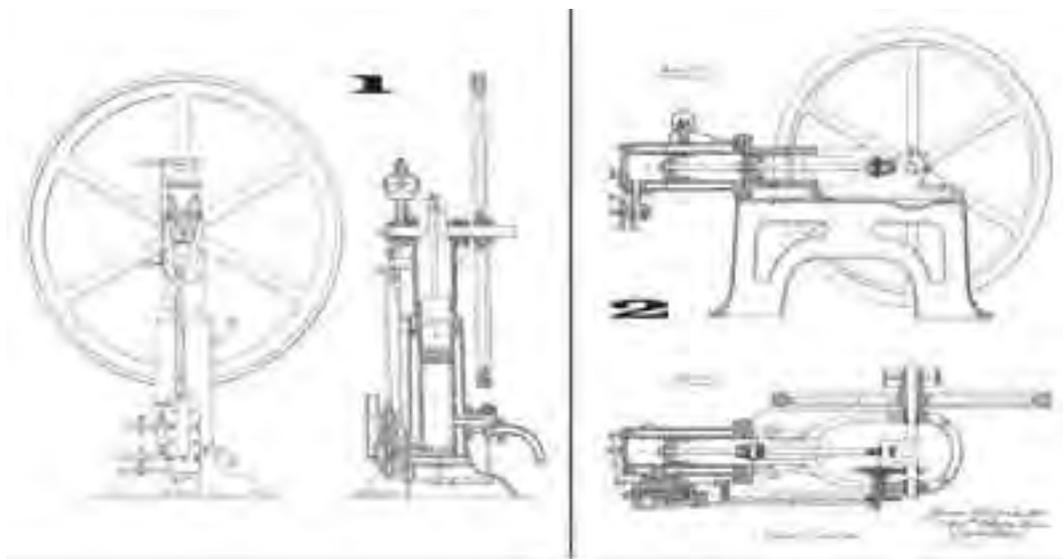
¹⁰⁶ Entre 1902 y 1910 La MTM tan solo fabricará 177 motores (J. NADAL, 1991, p. 185). En el *Atlas de la industrialització de Catalunya, 1750-2010*, de próxima aparición, se concreta que la potencia total de los 170 motores entregados (177 construidos) hasta 1910 fue de 9.373 CV. En esa línea, otro destacado constructor hispano de máquinas de vapor como es la sociedad Navegación e Industria afirma en 1912 que sus talleres Nuevo Vulcano se dedican, entre otras cosas, además de a «la construcción y reparación de Máquinas y Calderas de vapor, marinas y terrestres de todas clases», a los «motores de gas».

¹⁰⁷ Carecemos de información cuantitativa sobre producciones, pero eso no es aquí objeto esencial.

¹⁰⁸ Con ref. 16.654, es sobre *Perfeccionamientos en los motores de combustión interior*. Le seguirán otras en 1895 (exp. 17.085) y en 1896 (exp. 19.821); bajo una fórmula societaria, Allgemeine Gesellschaft für Dieselmotoren A. G., en 1900 (exp. 26.718). Rudolph Christian Karl Diesel presentó en público en 1897 un motor que quemaba aceite pesado por compresión, aunque esta no pasaba de una relación 30 a 1. Sin embargo, lograba niveles de rendimiento del 26%, casi el doble que el de los motores Otto de su tiempo. Aunque el éxito del motor diésel será notabilísimo, su creador no llegó a verlo, al fallecer en 1913.

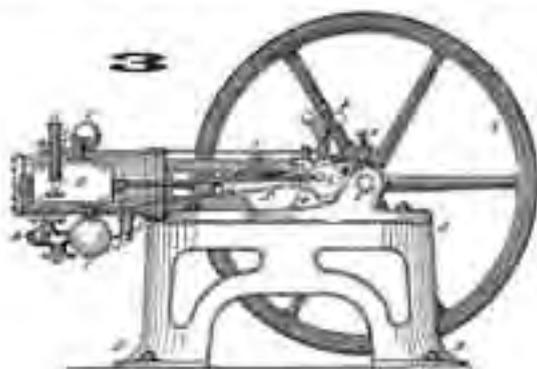
¹⁰⁹ En España, *Unos motores mejorados movidos por gas o vapor combustible* (noviembre de 1881, exp. 2.027, AHOEPM).

¹¹⁰ Sociedad fundada por José y Jaime Bertrán Ribot (socios capitalistas) con Gil Esteve Vila (socio industrial), se constituye en Barcelona en septiembre 1880 con el objeto de fabricar y vender motores de gas. En marzo de 1882 Gil Esteve Vila traspasa a su hermano Francesc la participación que le corresponde en la citada sociedad (25%). Entre tanto, en mayo de 1881 Bertrán Hermanos se constituye como fundición de hierro y otros metales.



12.16. Dos patentes de invención idénticamente tituladas: Un nuevo motor de gas:

1) *Ingenio vertical particularmente compacto, fue patentado por Bertrán Hermanos y Esteve en marzo de 1881. (Fuente: AHOEPM, exp. 1.509);* 2) *Motor horizontal con simple y robusta mecánica patentado por Bertrán Hermanos en diciembre de 1883. (Fuente: AHOEPM, exp. 3.812);* 3) *Ilustración del motor anterior en Industria e Invenciones (9 de febrero de 1884, p. 54);* posteriormente, esta misma imagen se reproducirá para ilustrar la voz máquina



de gas en el Diccionario general de arquitectura e ingeniería de Pelayo CLAIRAC (h. 1890, vol. v, p. 138).

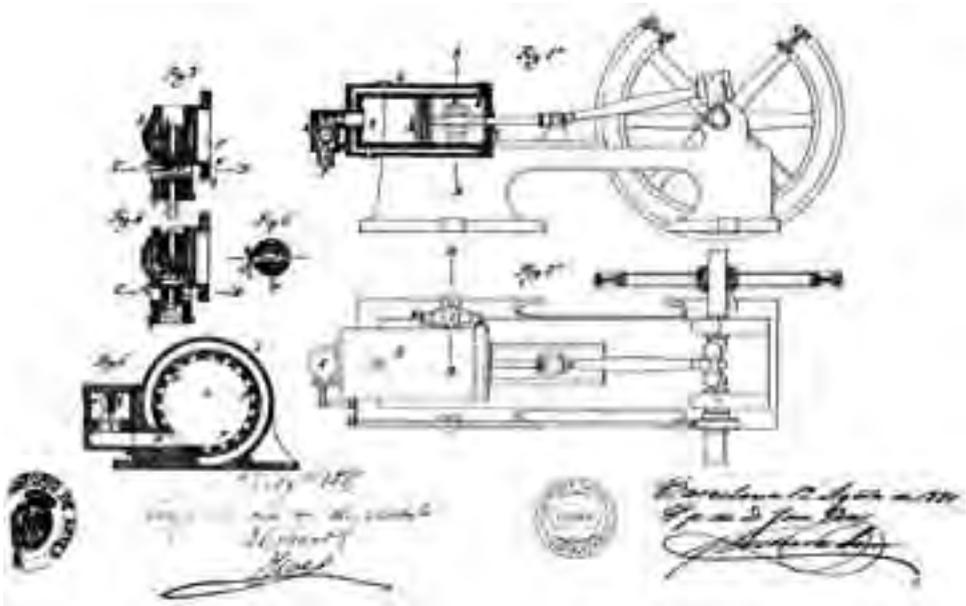
coste. Presentada en marzo de 1881 (exp. 1509), en diciembre de 1883 (exp. 3.812) la razón social Bertrán Hermanos registra un diseño totalmente diferente, de tipo horizontal¹¹¹. De diseño muy compacto, la patente del motor vertical (1881) enfatiza

¹¹¹ Las certificaciones de puesta en práctica datan de mayo de 1883 y julio de 1886, respectivamente. Entre ambas solicitudes, la sociedad se disuelve en mayo de 1883 (confirmación y ratificación de la disolución de abril de 1884). En el acuerdo de disolución los hermanos ceden y traspasan todos los derechos de la patente común a Gil Esteve. En compensación, los motores construidos y en construcción en sus «talleres de cerrajería» (23, de un valor de 500 pesetas cada uno) quedan en propiedad de los Bertrán y estos son autorizados a fabricar otros dos motores más de 1 CV.

varias peculiaridades: 1) suprime la barra de conexión del émbolo con la biela, y el mismo cilindro sirve de guía; 2) comprime la carga explosiva hasta un tercio de su volumen (lo que, según afirman, no se verificaba en ninguna otra máquina vertical del momento); y 3) deja la válvula de salida abierta cuando se dispone de excesivo par, con un diseño que califican de «elegante» y «sin trepidaciones». En el motor horizontal (1883), la válvula de admisión del gas se abre directamente mediante una varilla (*T*) que desplaza un excéntrico unido al manguito del regulador, al tiempo que el distribuidor, que es de corredera, es arrastrado por una biela que recibe el movimiento del árbol motor mediante unos engranajes helicoidales. En ambos diseños, una camisa alrededor del cilindro lo enfría con agua. Es significativo reseñar que este ingenio horizontal es el empleado para ilustrar la voz *máquina de gas* en el importante *Diccionario* de Pelayo CLAIRAC (vol. v, 1908, aunque probablemente el fascículo correspondiente fuese publicado en 1890), donde se da su descripción y se explica su funcionamiento. Se menciona como ejemplo de máquina sencilla y robusta; resulta interesante la precisión añadida de su precio de venta en los talleres (1.750 pesetas para las máquinas de 1 CV y 2.650 para las de 2).

La empresa **Sucesores de Bas** (Sabadell) fabricaba pequeñas máquinas de vapor y diversa maquinaria para el sector textil. Signo de los tiempos, en agosto de 1881 Francisco Bas solicitó una patente de invención por cinco años para *Un motor de gas* (exp. 1.810, AHOEPM). Más seguro de su diseño, un par de años después registró otra para *Un nuevo motor de gas*, esta por veinte años (exp. 3.815, diciembre de 1883, AHOEPM)¹¹². La primera define un motor horizontal con cilindro envuelto con una camisa con circulación de agua para la refrigeración. Para la admisión de gas y aire emplea una válvula de pistón, mientras que para el escape propone una de corredera movida por un excéntrico. Para que el pistón trabaje herméticamente, usa un émbolo-válvula con varios anillos elásticos que trabajan en el interior del cilindro. Mediante unas canales denominadas *de expulsión* (un poco más largas que el espesor del pistón, y que pueden ser cerradas por este) hace que un cierto porcentaje de los productos de la combustión pasen a la otra parte del cilindro, de modo que la presión se reduce y es posible introducir una nueva carga de gas y aire en el cilindro. La explosión la produce «una llama movable llevada en una válvula de pistón». Al avanzar el pistón provoca un vacío que hace que las válvulas de admisión se abran y penetre la mezcla de gas y aire. Al regresar a su posición original, el contenido se comprime y se cierra la comunicación con la cámara, de modo que una porción del mismo se ve forzado a pasar por una válvula de escape al cilindro. La mezcla comprimida explota y el pistón es impelido hacia afuera. El escape de productos de la combustión reduce la presión en el cilindro y, en consecuencia, el pistón continúa su curso hacia afuera, introduciendo una nueva carga de gas y aire. Existe un sistema de válvulas, aberturas y canales que, combinados, permiten regular la mezcla combustible y los productos de la combustión generados.

¹¹² Certificaciones de puesta en práctica de marzo de 1883 y julio de 1886, respectivamente.



12.17. Un motor de gas, patente de invención 1.810, solicitada en 1881 por Francisco Bas: 1) Elevación lateral que muestra el cilindro y el pistón-válvula en sección; 2) Planta; 3-4) Secciones horizontales del pistón-válvula de la caja K de entrada del aire y del gas; 5) Sección del cilindro por la línea A-B; 6) Sección transversal del pistón-válvula por la línea C-D. (Fuente: AHOEPM).

La segunda patente concierne, en realidad, a un limitador de velocidad. Opera en bucle cerrado obturando la entrada de gas, al tiempo que el regulador anticipa la apertura de la válvula de escape. Además, con objeto de facilitar el arranque del motor, el maquinista puede adelantar la apertura de las válvulas de escape «para disminuir la resistencia que opone la compresión».

No tenemos conocimiento del éxito comercial de estos motores. No obstante, se sabe que en el mismo 1881 la empresa firmó un acuerdo con Ignacio Damians para establecer un depósito en Barcelona, pacto que es renovado con Hijo de Ignacio Damians en 1883 y 1886¹¹³. No obstante, observando la publicidad de esta última casa en el catálogo de la Exposición Universal de Barcelona (1888) o, sin exhaustividad, en la revista *Industria e Invenciones* se puede constatar que la empresa comercial anuncia explícitamente muy diferentes productos, incluso máquinas de vapor, pero nunca de gas.

Joaquín Torres es la razón social de un acreditado constructor de maquinaria barcelonés especializado en diversos tipos de ingenios para las imprentas o para aserrar maderas, principalmente, que extiende su actividad a la fabricación de motores de gas. En esta última dimensión Joaquín Torres Rexach solicita una patente de invención

¹¹³ E. DEU BAIGUAL: *La indústria metalúrgica i de construccions mecàniques a Sabadell*, Barcelona, Centre Metalúrgic / Fundació Cardellach, 2005. (Referencia proporcionada por J. Benaül).

(exp. 9.583, mayo de 1889) que no llega a ponerse en práctica por las mejoras rápidamente obtenidas en el producto. Por ello, en diciembre del mismo año (exp. 10.290) Joaquín Torres Canosa (¿hijo de Torres Rexach?) pide otra, también por veinte años. Puesta esta en práctica en agosto de 1891, con certificación del ilustre ingeniero Francisco de Paula y Rojas, en abril de 1894 somete un certificado de adición (exp. 15.725, puesto en práctica en agosto de 1894) con el que se configura el motor que fabricarán y comercializarán.

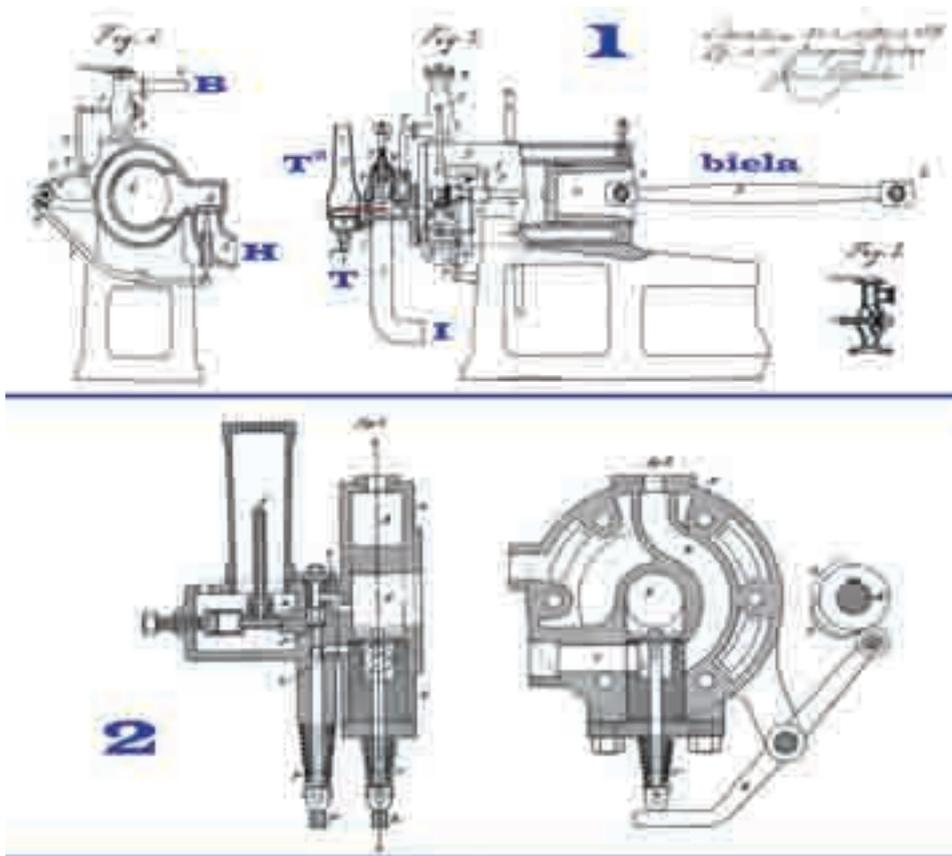
La patente inicial, *Motor de gas perfeccionado sistema Torres*, plantea otra variante más al motor Otto. Cambia su sistema de distribución sustituyéndolo por una válvula de admisión y otra de regulación, esta última movida por una palanca acodada accionada por un excéntrico. Si el motor se embala, el excéntrico se desplaza y no permite la admisión de más gas. Esta válvula se comunica por un tubo con la de admisión, que permanece cerrada merced a un resorte. En esta se mezclan el gas y el aire necesario para la combustión, y se abre «por la presión atmosférica en virtud del vacío verificado por el émbolo en el cilindro durante su carrera». Análogamente a la de regulación, la válvula de escape es accionada por otra palanca acodada, también movida por un excéntrico. La ignición la provoca un tubo de platino, calentado mediante un mechero de gas exterior. Además del gas de alumbrado, se puede utilizar aire carburado por gasolina. Se autocalifica de «sistema mucho más sencillo que los conocidos hoy día tanto por su construcción como por su solidez».

Resulta curioso que la supresión del vástago o barra de conexión del émbolo, característica estructural del motor que se observa en los dibujos de la primera patente, no fuera objeto de reivindicación¹¹⁴. Sin embargo, ello sí lo es en la segunda patente (fig. 12.18.1), poco más de medio año después. En esencia, la biela se articula directamente a una barra transversal del émbolo, lo que permite una construcción más sencilla (sin guías), ligera y compacta, que abarata costes de fabricación. En esta patente se recoge de nuevo el anterior sistema de distribución y escape de gases, cambiando el uso del tubo de platino por otro de níquel. Merece la pena reproducir la argumentación, fruto indudable de una actividad de investigación en el taller:

Los experimentos que se han hecho con el níquel para producir la inflamación me han demostrado las ventajas que posee sobre el platino y el acero, que son los metales que se han empleado hasta hoy: no es tan caro como el platino, su duración es comparable a la de este metal, su acción es tan rápida como la del platino, y por lo tanto mucho más que la del acero, y no se oxida como sucede con este.

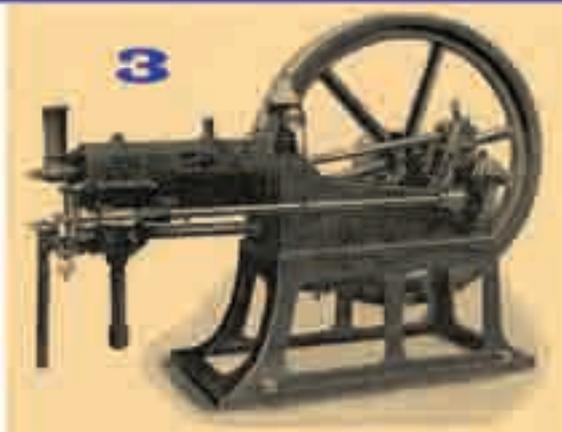
Para aumentar la temperatura del tubo de níquel, lo que favorece la velocidad de la combustión, y ahorrar gas en su calentamiento, se reivindica también la cobertura de la chimenea del mechero con tierra refractaria, en vez de amianto o directamente el hierro.

¹¹⁴ En realidad, este rasgo está presente en muchas máquinas de vapor de acción directa, pero recuérdese que el sistema de patentes español es de simple registro y en él no se exige la novedad como precondition. En diseño global muy diferente, también aparece en el mencionado motor vertical de Bertrán Hermanos y Esteve de 1881 (fig. 12.16.1).



12.18. Motor de gas «sistema

Torres»: De cilindro horizontal, la entrada de gas se acciona por un regulador de contrapeso, mientras que la inflamación se realiza merced a un mechero Bunsen. Provisto de un carburador, se puede utilizar con gasolina. (El carburador es una suerte de gasógeno de aspiración basado en el efecto Venturi; en el primer lustro de la década de 1880 fue incorporado a los motores de explosión con compresión previa por K. Benz o G. Daimler, entre otros).



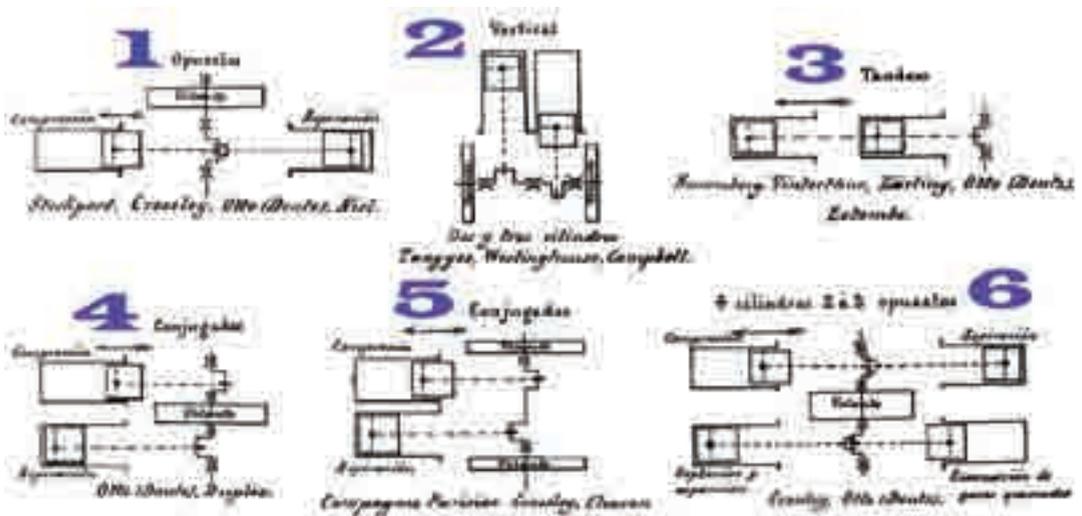
1) «La fig. 1 del plano representa una sección transversal del motor y la fig. 2 un alzado, parte en corte, parte en vista» (B e I: alimentación de gas y aire, respectivamente; H: escape de los gases de la combustión; T: entrada de gas para el mechero que calienta el tubo de níquel, aquí coloreado en rojo; T2: chimenea del hornillo con material refractario), exp. 10.290, AHOEPM, 1889; 2) «La tapa del motor objeto de la patente principal con la modificación correspondiente a este certificado de adición, siendo la fig. 1 una sección longitudinal por el eje y la fig. 2 una sección transversal por la línea XX de la fig. 1», exp. 15.725, AHOEPM, 1894; 3) Imagen publicitaria en *Industria e Invenciones*, desde 1896 y durante varios años.

Según el autor, las mejoras de esta patente conducen a una mayor facilidad en la construcción de la máquina de gas y a una reducción de costes. Con la experiencia adquirida a lo largo de más de cuatro años, en abril de 1894 se deposita la solicitud de un certificado de adición. Su objeto es «sustituir la válvula libre que detiene el paso del gas y del aire por otra actuada por el excéntrico, y en combinarla con una válvula de ignición». En suma, se sustituye la antigua segunda válvula, denominada *de admisión*, de apertura por depresión, por una movida mediante una tercera palanca acodada (*K*) y el correspondiente excéntrico (*L*), al tiempo que se añade una cuarta válvula, *P*, «que cumple el doble objetivo de hacer comunicar la cámara del tubo de ignición con la de inflamación en el momento preciso de verificarse esta, cerrando después el paso para establecerlo entre el tubo de ignición y el aire exterior». La palanca *P*² se mueve gracias al excéntrico *L* de modo que «descienda en el momento de la inflamación y vuelva a subir enseguida». Al descender pone en contacto el tubo de ignición (*S*) con la cámara (*Q*) del cilindro; en caso contrario, con el conducto (*I*) de admisión del aire exterior, renovándose los gases en la cámara (*R*). La ventaja principal aportada por esta cuarta válvula es evitar que la cámara de inflamación (*Q*) se halle permanentemente en comunicación con el tubo de ignición (*S*), ya que resultan «inflamaciones extemporáneas», que se producen antes de que el émbolo llegue al final de su carrera, por lo que se reduce la potencia y se puede dañar el motor. Merced a descripciones en la prensa técnica, sabemos del motor comercializado que «el eje que conduce los camones que accionan las válvulas recibe el movimiento por un sin fin para que sea completamente silencioso [...] [y que finalmente] la inflamación se produce por medio de un tubo de porcelana de tan rápido efecto que solo necesita unos diez segundos para ponerse candente [...] [y está dotado de] un aparato de seguridad para que el motor al ponerse en marcha no pueda girar en sentido contrario»¹¹⁵. Según el prospecto publicitario de la firma, «el consumo no llega a un metro cúbico de gas por caballo y hora».

Los tres pequeños constructores con patentes aquí considerados fabricaron motores de potencias de algunos caballos de vapor, lejos de los centenares o miles que requerirán las centrales eléctricas o la propulsión marina, pero son representativos del hacer hispano en la época. Entre los de mayor potencia construidos con tecnología propia (quizás en parte de dominio general) se encuentran algunos de Escuder, que llegaron a los 150 CV (fig. 12.15). En lo mencionado no han aparecido los motores policilíndricos, con los que por simple replicación se busca mayor potencia y regularidad, pero «es indudable que el tipo más conveniente en la explotación [...] es el monocilíndrico, pues el cuidado es más sencillo, menos válvulas que vigilar, el engrasado mucho más fácil y limitado; [pero] tiene el inconveniente de que para obtener el grado de regularidad, no exagerado, hay que acudir a pesados volantes»¹¹⁶.

¹¹⁵ *Industria e Invenciones*, 8 de enero de 1898, pp. 10-11.

¹¹⁶ J. M.^a SAINZ, 1906, p. 134.



12.19. Diferentes disposiciones en motores de «gas detonante» multicilíndricos (Fuente: J. M.^a SAINZ, 1906, p. 133): 1) Dos horizontales en oposición con volante lateral; 2) Dos verticales en oposición con sendos volantes laterales; 3) Dos horizontales en tándem (no se define la presencia de los volantes); 4) Dos horizontales conjugados con volante central; 5) Ídem con sendos volantes laterales; 6) Cuatro horizontales, 2 a 2 opuestos, cada uno en una fase del ciclo de Otto, con un volante central. Según los esquemas, se puede observar que no existen vástagos enlazados a los pistones, arrancando directamente las bielas de los mismos.

IV

A MODO DE CONCLUSIÓN

Las visiones «duals» presentadas ponen de relieve dimensiones complementarias del mundo del motor térmico en la España decimonónica. Por un lado, en el ámbito académico hay una asimilación y un seguimiento dignos de lo que se produce en los países líderes de la industrialización. Los textos hispanos manejan con evidente preferencia las fuentes francesas, o las traducciones en francés (como es el caso, por ejemplo, del texto de Th. THREDGOLD, 1831). De forma muy cualitativa y para fijar ideas, podría decirse que el retraso en lo publicado se puede estimar, dependiendo del texto, entre una y dos décadas. Pero hay que reconocer que

- 1) El número de obras editadas es muy pequeño en relación con la que fue indiscutible fuerza impulsora de la Revolución Industrial; las escritas desde la Marina muestran en los autores conocimiento y «sufrimiento» real con esta clase de complejos, delicados y peligrosos ingenios.
- 2) Dentro del siglo XIX solo hemos encontrado un texto realmente centrado en la teoría y el cálculo de las máquinas térmicas con arreglo a la termodinámica, el del ingeniero industrial Gumersindo de VICUÑA (1872b); de poco más de tres décadas

después, se puede mencionar, aunque de espectro intencionalmente más limitado, el del oficial de artillería Carlos SÁNCHEZ PASTORFIDO (1905).

- 3) Consecuencia del estado general del sector, resulta clamorosa la ausencia de obras sobre el diseño o la fabricación de estos motores debidas a constructores o ingenieros. Son excepción, pero sobre temáticas no centrales en el mundo de las máquinas térmicas, los alumbrados por los ingenieros industriales Juan A. MOLINAS (1886) y Guillermo J. GUILLÉN GARCÍA (1895).
- 4) En contraste con lo que ocurre con las patentes, las máquinas de combustión interna no tuvieron monografía propia en el siglo XIX. El texto del ingeniero de caminos José María SAINZ (1906) fue de simple divulgación. De mayor extensión y nivel, tampoco obra de constructores, centrado en la motorización marina, es el de los oficiales de la Armada Ramón ESTRADA y Antonio MAGAZ (1908).

En el mundo de la invención-innovación-construcción de las máquinas térmicas, el panorama es también de seguimiento, y es preciso apuntar una debilidad casi crónica en el sector. Durante el tercio final de la centuria el retraso quizás se pudiera evaluar cualitativamente entre una y dos décadas, o poco más (en ciertos temas la reacción fue incluso bastante más rápida, como en algunos motores de gas). Entre otras cosas, se puede afirmar lo siguiente:

- 1) La construcción de máquinas de vapor presenta rasgos de atonía mayor hasta bien mediado el siglo, y posteriormente de atonía relativa. En gran parte ello es debido a las insalvables trabas que desde la Administración se le impusieron al sector, exceptuadas las dos últimas décadas de la centuria, cuando ya se intuía-contemplaba el ocaso industrial de las máquinas de vapor. Dicho esto, se constata construcción en la década de 1840, y es en la de 1850 cuando se puede hablar de la constitución de un tenue sector industrial propiamente dicho. Una demanda modesta y excesivamente diversificada de máquinas, situada por debajo de lo que hubiese permitido fabricaciones seriadas, limitó los impulsos innovadores.
- 2) El uso del sistema de patentes por parte de los constructores españoles ofrece perspectivas diferenciadas para las máquinas de vapor y las de combustión interna, y es mucho más importante en este segundo caso.
- 3) Dado el tardío nacimiento del sector de constructores en España, a pesar de sus múltiples variantes, mediada la centuria, la máquina de vapor era ya un tipo de producto relativamente maduro (la última gran innovación internacional fue, a mediados de siglo, el sistema de distribución Corliss, 1849). De este modo, el uso de saberes de libre disposición permitía, trabajando con esmero, obtener máquinas muy apreciables. Así, La Primitiva Valenciana fue premiada con dos medallas de plata en la Exposición del Centenario de la Independencia de los Estados Unidos (1876), pero no sabemos que registrase ninguna patente al respecto. Igualmente resulta concluyente el que Alexander Hermanos consiguiera sendas medallas de oro en las exposiciones internacionales parisinas de 1867 y 1878, cuando su

única patente de invención en la temática es posterior, de 1880. Acuerdos como el de La MTM con Maudslay para los motores principales que construye al calor de la Ley de la Escuadra de 1887 indican otra vía de innovación, claramente dependiente, que, por ejemplo, no sabemos si empleó P&W (cosa que esta última sí hizo para fabricar los reputados cañones de acero tipo Gómez Hontoria), pues sus archivos —si aún existen— no han sido localizados.

- 4) La revolución acarreada por los motores de gas es fenómeno del último cuarto de la centuria. Por lo tanto, los constructores de máquinas de vapor establecidos tuvieron una oportunidad que no aprovecharon. Así, La MTM no empezará a producirlos industrialmente hasta 1903, pero bajo licencia de la suiza Winterthur. Sin embargo, como indica el coronel de ingenieros José Marva y Mayer en su prólogo al texto de J. M.a SAINZ (1906, p. VI),

en España tuvieron gran aceptación los motores de gas, y desde hace algunos años ha tomado notable incremento el empleo de los de gas pobre. Pruébanlo las patentes registradas, las numerosas instalaciones de gasógenos y motores y la creciente multiplicidad de los talleres en que se construyen.

Dado su menor encumbramiento y la necesidad de menos dispositivos auxiliares, los motores de gas se pudieron fabricar en talleres sensiblemente más pequeños. En este texto, se ha dado cuenta de algunos que, al menos en parte, basaron su producción en el registro de patentes (Bertrán, Bas, Torres...). Al igual que en el caso del sevillano Juan Mestres (fig. 12.11) con respecto a pequeñas máquinas de vapor, ninguna de estas patentes supuso un punto de ruptura en el saber técnico del momento, pero permitió a los constructores ofrecer productos diferenciados, normalmente de potencias reducidas (no superiores a la decena de caballos de vapor) y, al parecer, de calidad mecánica y consumo razonables.

Con diferencia, el mayor constructor hispano de motores de gas fue Miguel Escuder Castella, que basó su estrategia inicial (en 1878 y por cinco años) en unas patentes registradas ante los problemas que tuvo Otto con el reconocimiento de las suyas. Es decir, su arranque en el sector es más un caso de oportunismo empresarial que de diferenciación con productos de técnica propia. Ahora bien, esta estrategia inicial no permite explicar su éxito como constructor por más de un cuarto de siglo, ya que en 1902 habra vendido más de 3.000 unidades, alguna de hasta 150 CV (según su publicidad; fig. 12.15.3). Realmente, nos es desconocido el proceso de creación y mejora de motores de este constructor. Su intento de buscar productos alternativos (o servirse del registro de patentes para consolidar su imagen de marca?) se refleja, por ejemplo, en su propuesta del motor de aire caliente (fig. 12.15.1), en nuestra opinión de dudoso interés técnico. Pero tanto Miguel Escuder como sus hijos patentaron con frecuencia y en ámbitos muy diversos. Entre las últimas patentes del creador de la empresa se encuentran dos más relativas a los motores de gas, aunque de ninguna de estas fue certificada su puesta en marcha. La más interesante es la última, si bien registrada con el siglo xx apenas empezado: *Mejoras en los motores de gas, que*

constituye un aparato, solicitada en enero de 1901 (exp. 27.220). Contiene tres ideas que cabe señalar¹¹⁷: 1) para la refrigeración emplea una camisa desmontable; 2) para la combustión usa una cámara hemisférica con una cierta abertura; y 3) dispone que la culata sea pieza separada. Los objetivos de mejora que persigue explícitamente no conciernen al rendimiento energético, sino a las operaciones de limpieza y reparación —en suma, de mantenimiento—, así como introduce una interesante modularidad en la fabricación.

A modo de resumen general, se puede decir que hubo mayor capacidad técnica que industrial. Si inexcusablemente se debe hablar de retraso o incapacidad global para innovar en primera línea, no se ha de olvidar que el capital humano con competencias técnicas era cuantitativamente muy reducido, y que hubo actividad dentro de un marco político-económico que solo a finales de la centuria dejó de ser especialmente limitador para ello, cuando quizás era demasiado tarde.

Agradecimientos. Manuel González Bedia nos acompañó en las etapas iniciales de esta aventura, pero importantes restricciones profesionales no le permitieron involucrarse en la tarea. Rafael Rubén Amengual Matas y Julián Simón Calero aportaron sugerencias al borrador de este texto. Montserrat Ramón y Jordi Cuesta, responsables del Fons Antic de la ETSEI de Barcelona, e Isabel Inés Mendoza, directora de la biblioteca de la ETSII de Madrid, nos facilitaron sobremana el acceso al patrimonio bibliográfico hispano. A todos ellos, nuestro más sincero agradecimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- AGACINO, Eugenio: *Manual del maquinista de la marina mercante*, Barcelona, Tipogr. Vda. de Luis Tasso, 1912.
- ALCOVER, José: *Motores empleados en la industria*, vol. I: *Máquinas de vapor*, Madrid, M. Tello (Monografías Industriales), 1871.
- ALONSO VIGUERA, José María: *La ingeniería industrial española en el siglo XIX*, Madrid, ETSI Industriales, 1961, 2.^a ed.
- AMENGUAL MATAS, R. Rubén: *Análisis de la evolución histórica de las máquinas térmicas durante el periodo 1826-1914 a través de las patentes españolas de la época*, tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, 2004.
- *Bielas y álabes (1826-1914): evolución histórica de las primeras máquinas térmicas a través de las patentes españolas*, Madrid, Oficina Española de Patentes y Marcas, 2008.

¹¹⁷ En M. LAGE MARCO, 2005, pp. 31-34, se comentan estas dos, así como otras patentes originales de diversos autores. Entre otras destaca una de refrigeración por aire de Andrés Cusach y Ricart (*Mejoras en los motores de gas verticales que constituyen un nuevo motor de gas*, 1883, exp. 3.044), que tampoco fue puesta en práctica.

- AMENGUAL MATAS, R. Rubén, y Manuel SILVA SUÁREZ: «La protección de la propiedad industrial y el sistema de patentes», en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2007, pp. 215-267.
- y J. Patricio SAIZ: «Trayectorias tecnológicas de las máquinas térmicas e industria del motor en España», en P. PASCUAL DOMÉNECH y P. FERNÁNDEZ PÉREZ (eds.), 2007, pp. 53-126.
- BERNAT, Pascual: «Jaume Arbós i Tor: científic i tecnòleg osonenc del segle XIX», *AUSA*, vol. XXI, n.º 151, 2003, pp. 51-74.
- CABANA, Francesc: *Fàbriques i empresaris: els protagonistes de la Revolució Industrial a Catalunya*, vol. I: *Metallúrgics i químics*, Barcelona, Enciclopèdia Catalana, 1992.
- CALZAVARA, Vittorio: *Motores de gas, de alcohol y de petróleo*, trad. de José Estalella, Barcelona, Gustavo Gili, 1908 (2.ª ed. rev., 1917).
- CAMPS ARMET, Carlos: *Diccionario industrial: artes y oficios de Europa y América*, Barcelona, A. Elías y Comp.^a, s. f. (1888-1891, compuesto por 6 vols.; el v debió de publicarse en 1890; la 3.ª ed. del vol. I está datada en 1892).
- CARRANZA Y ECHEVARRÍA, José de: *Tratado de las máquinas de vapor, aplicadas a la propulsión de los buques*, Madrid, J. Martín Alegría, 1857.
- CASTILLO, Alberto del: *La Maquinista Terrestre y Marítima (1855-1955): personaje histórico*, Barcelona, Seix Barral, 1955.
- CAYÓN, Francisco, y Miguel MUÑOZ RUBIO: «¡Que fabriquen ellos! La fabricación de locomotoras de vapor en España: ¿una ocasión perdida para la industria?», en P. PASCUAL DOMÉNECH y P. FERNÁNDEZ PÉREZ (eds.), 2000, pp. 287-344.
- CHACÓN Y ORTA, FRANCISCO: *Breve idea de las máquinas de vapor y sus aplicaciones a la navegación*, Cádiz, Impr., Libr. y Litogr. de la Revista Médica, 1850.
- *Manejo de las máquinas de vapor de a bordo*, San Fernando, Impr. y Libr. Española, 1852 (es 2.ª ed. corr. y aum. de otra de 1850).
- *Breve idea de las máquinas de vapor y sus aplicaciones a la navegación*, San Fernando, Impr. y Libr. Española, 1859 (es 2.ª ed. corr. y aum. de las dos referencias previas).
- CLAIRAC Y SÁENZ, Pelayo: *Diccionario general de arquitectura e ingeniería, que comprende todas las voces y locuciones castellanas, tanto antiguas como modernas, usadas en las diversas artes de la construcción, con sus etimologías, citas de autoridades, historia, datos prácticos y equivalencias en francés, inglés e italiano*, Madrid, 1877 (vol. I), 1879 (vol. II), 1884 (vol. III), 1888 (vol. IV); Barcelona, 1908 (vol. V). (Existe una muy interesante edición íntegra en soporte digital a cargo de Inmaculada Aguilar Civera, Madrid, CEHOPU / CEDEX, 2010).
- CUADRADO IGLESIAS, Juan Ignacio, y Marco CECCARELLI: «El nacimiento de la teoría de máquinas y Betancourt», en Manuel SILVA SUÁREZ (ed.), 2005, pp. 131-181.
- ESCRIBANO, A.: «La Maquinista Terrestre i Marítima», *Recerques: Història, Economia, Cultura*, vol. 18, 1986, pp. 141-160.
- ESTRADA, Ramón, y Antonio MAGAZ: *Motores marinos de combustión interna*, Madrid, Impr. de la Sección de Hidrografía, 1908.

- FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ, Gustavo: *Curso de máquinas de vapor, que comprende el manejo y el entretenimiento de las principales tipos de calderas, máquinas y propulsores usados en la navegación de vapor*, Madrid, Impr. de Fortanet, 1879.
- *Curso elemental de máquinas marinas de vapor, seguido de apéndices sobre los aparatos auxiliares hidráulicos y alumbrado eléctrico*, Madrid, Impr. de Fortanet, 1891, 3.^a ed. corr. y adic.
- FORONDA Y GÓMEZ, Manuel de: *Ensayo de una bibliografía de los ingenieros industriales*, Madrid, obra premiada por la Biblioteca Nacional de España, 1948.
- GARCÍA TAPIA, Nicolás: «Privilegios de invención», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. I: *El Renacimiento. De la técnica imperial y la popular*, 2.^a ed., Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008b, pp. 669-699.
- GARRABOU, Ramon: *Enginyers industrials, modernització econòmica i burgesia a Catalunya (1850 – inicis del segle XX)*, Barcelona, L'Avenç, 1982.
- GOTTI, José: *La maquinaria moderna*, 4 vols. más atlas, Barcelona, Impr. de José Gaspar, 1859-1861.
- GUILLÉN GARCÍA, Guillermo J. de: *Explosiones de generadores de vapor*, Barcelona, Impr. de Pedro Ortega, 1895.
- HELGUERA QUIJADA, Juan: «La introducción de nuevas técnicas: de la inmigración tecnológica al espionaje industrial», en M. SILVA SUÁREZ (ed.), 2005, pp. 47-94.
- LAGE MARCO, Manuel: *Historia de la industria española de automoción: empresas y personajes*, Madrid, Fundación Instituto Tecnológico para la Seguridad del Automóvil, 2005.
- LÓPEZ MARTÍNEZ, M., J. HIDALGO TABLADA y M. PRIETO Y PRIETO (dirs.): *Diccionario enciclopédico de agricultura, ganadería e industrias rurales*, 8 vols., Madrid, Viuda e Hijos de J. Cuesta, 1885-1889.
- MALUQUER DE MOTES I BERNET, Jordi (dir.): *Tècnics i tecnologia en el desenvolupament de la Catalunya contemporània*, Barcelona, Consell de Col·legis d'Enginyers Tècnics Industrials de Catalunya / Fundació Enciclopèdia Catalana, 2000.
- MÁRMOL, M. M. del: *Idea de los barcos de vapor o Descripción de su máquina, relación de sus progresos e indicación de sus ventajas*, Sanlúcar de Barrameda, Fco. de Sales del Castillo, 1817.
- MARTÍNEZ RUIZ, José Ignacio: «Dos trayectorias industriales confrontadas: Portilla & White de Sevilla y La Maquinista Terrestre y Marítima de Barcelona. Una aproximación», en *II Congreso de Historia Catalano-Andaluza, Relaciones Económicas e Intercambios Culturales*, Barcelona, 1998, pp. 73-103.
- MARTÍNEZ Y TACÓN, Juan José: *Descripción de las máquinas de vapor y de sus más importantes aplicaciones*, Madrid, L. Amarita, 1835.
- MOLINAS, Juan A.: *El indicador de presiones y sus aplicaciones*, Barcelona, José Miret, 1886.
- NADAL, Jordi: «Los Bonaplata: tres generaciones de industriales en la España del siglo XIX», *Revista de Historia Económica*, I (1), 1983, pp. 79-95.

- NADAL, Jordi: «La metalhúrgia. De les reparacions mecàniques a les construccions metàl·liques», en J. Nadal *et al.* (dirs.): *Història econòmica de la Catalunya contemporània*, vol. 3: *S. XIX: indústria, transports i finances*, Barcelona, Enciclopèdia Catalana, 1991, pp. 159-202.
- «Las máquinas de vapor fijas de La Maquinista Terrestre y Marítima, S. A.», *Revista de Historia Industrial*, 16, 1999, pp. 115-161.
- ODRIOZOLA, José: *Mecánica aplicada a las máquinas o Tratado teórico experimental sobre el trabajo de las fuerzas*, Madrid, Impr. del Colegio de Sordo-Mudos, 1839.
- ORTIZ-VILLAJOS, José María: *Tecnología y desarrollo económico en la España contemporánea: estudio de las patentes registradas en España entre 1882 y 1935*, Madrid, Oficina Española de Patentes y Marcas, 1999.
- «La difusión internacional del motor de gas: Crossley Brothers y sus socios en España, 1867-1935», en *XIV International Economic History Congress: Systems of Small and Middle Size Enterprises in Latin America and Southern Europe (XIX-XX centuries)*, Helsinki, 21 to 25 August 2006.
- «Patentes, innovación y éxito empresarial. Estudio comparado de los principales fabricantes de máquinas de vapor en España, c. 1830-1914», en G. Tortella *et al.* (eds.): *Educación, instituciones y empresa: los determinantes del espíritu empresarial*, Madrid, Academia Europea de Ciencias y Artes España, 2008, pp. 165-261.
- PASCUAL DOMÉNECH, Pere, y Paloma FERNÁNDEZ PÉREZ (eds.): *Del metal al motor*, Madrid, Fundación BBVA, 2007.
- QUINTANA Y JUNCO, José, y Joaquín ORTIZ DE LA TORRE: *Curso teórico-práctico de máquinas de vapor*, Ferrol, El Correo Gallego, 1903.
- RIERA I TUÈBOLS, Santiago: *Dels velers als vapors*, Barcelona, Col·legi d'Enginyers Industrials, 1993.
- ROCA ROSELL, Antoni: «Técnica, ciencia e industria en tiempo de revoluciones. La química y la mecánica en Barcelona en el cambio del siglo XVIII al XIX», en Manuel SILVA SUÁREZ (ed.), 2005, pp. 183-235.
- RODRIGO, Martín: «La industria de construcciones mecánicas en Cataluña: el Arsenal Civil de Barcelona», *Revista de Historia Industrial*, 16, 1999, pp. 163-176.
- RODRÍGUEZ, Eduardo: *Manual de física general y aplicada a la agricultura y la industria*, Madrid, Impr., Fund. y Libr. de don Eusebio Aguadó, 1858.
- ROJAS Y CABALLERO INFANTE, FRANCISCO de Paula: *Termodinámica: su historia, sus aplicaciones y su importancia (obra premiada en concurso público por el Ateneo Barcelonés)*, Barcelona, Luis Tasso, 1876.
- ROSICH Y RUBIERA, Juan: *Máquinas de vapor: calderas, máquinas de émbolo y turbomotores*, pról. de José de Igual, Barcelona, Manuel Marín, 1908.
- SAINZ, José María: *Gasógenos y motores de combustión*, Madrid, Lib. Int. de Adrián Romo, 1906.
- SAIZ GONZÁLEZ, Patricio: *Propiedad industrial y revolución liberal: historia del sistema español de patentes (1759-1929)*, Madrid, Oficina Española de Patentes y Marcas, 1995.

- SAIZ GONZÁLEZ, Patricio: *Invención, patentes e innovación en la España contemporánea*, Madrid, Oficina Española de Patentes y Marcas, 1999.
- SÁNCHEZ PASTORFIDO, Carlos: *Termodinámica: principios fundamentales de la termodinámica. Aplicación a los gases y al vapor de agua. Rendimientos de los motores térmicos*, Tipolitogr. de la Academia de Artillería de Segovia, 1905.
- SÁNCHEZ ROMERO, Miguel Ángel: *La industria valenciana en torno a la Exposición Regional de 1909*, tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, diciembre de 2009.
- SERRAT I BONASTRE, Josep: «Influencia del espíritu de investigación científica sobre la invención y el perfeccionamiento de la máquina de vapor», *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, vol. XI, n.º 20, 1915.
- SILVA SUÁREZ, Manuel (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. III: *El Siglo de las Luces. De la industria al ámbito agroforestal*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2005.
- (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. IV: *El Ochocientos. Pensamiento, profesiones y sociedad*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007.
- SORO Y FERNÁNDEZ DE LA SOMERA, José M.^a, y Carlos F. de CASTRO Y GONZÁLEZ: *Manual del constructor y formulario*, Madrid, Libr. Edit. de Bailly-Baillière e Hijos, 1892 (2.^a ed., aum. y corr., 1904).
- TREDGOLD, Thomas: *Tratado de máquinas de vapor y su aplicación a la navegación, minas, manufacturas, etc.*, trad. de Gerónimo de la Escosura, Madrid, Impr. de León Amarita, 1831 (ed. orig., 1828).
- VALDÉS, Nicolás: *Manual del ingeniero*, París, Dumaine, 1859.
- *Manual del ingeniero y arquitecto*, Madrid, Impr. de Gabriel de Aranda, 1870, 2.^a ed. ampl.
- VICUÑA, Gumersindo de: *Motores empleados en la industria*, vol. III: *Motores diversos*, Madrid, M. Tello (Monografías Industriales), 1872a.
- *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y de gas con arreglo a la termodinámica*, Madrid, Impr. de Manuel Tello, 1872b.

La termodinámica: las definiciones de una nueva disciplina científica desde la física matemática

Stefan Pohl Valero
Universidad del Rosario, Bogotá

A finales de la década de 1860 la nueva ciencia del calor, la termodinámica, empezó a ser difundida y posteriormente enseñada en España. Como sus propios divulgadores explicaban, la física había logrado un gran avance unificador en la medida que los diferentes fenómenos de la naturaleza se empezaban a entender como el resultado de un único hecho mecánico. Así, fenómenos como el calor, la luz o la electricidad —que anteriormente se habían considerado como fluidos imponderables independientes— ya no eran interpretados como agentes diferentes de la naturaleza, sino como distintas formas de movimiento. La teoría mecánica del calor, que explicaba la naturaleza de este en términos de materia y movimiento, así como la comprobación experimental de que el calor se transformaba en trabajo en los procesos térmicos, habían permitido esta nueva concepción de los fenómenos naturales, que entonces se interpretaron como diferentes manifestaciones de una misma energía fundamental.

De acuerdo con el principio de la conservación de la energía —o primera ley de la termodinámica—, todas las formas de energía son cualitativamente transformables y cuantitativamente indestructibles. Por otro lado, la segunda ley de la termodinámica establece que, en los procesos en los que la energía se transforma, parte de esta tiende a disiparse en forma de calor. La cantidad de energía disponible para hacer trabajo disminuye inexorablemente en los sistemas cerrados. Este incremento de desorden en un sistema termodinámico fue designado por el físico alemán Rudolf Clausius (1822-1888) con el término *entropía*, concepto que a su vez introducía en la física la noción de irreversibilidad, la llamada *flecha del tiempo*. En resumen, Clausius definió las dos leyes de la termodinámica de la siguiente forma: «La energía del universo es constante. La entropía del universo tiende a un máximo»¹.

Una conceptualización mecánica de la energía, con el trabajo como su medida esencial, dominó la física en la segunda mitad del siglo XIX, aunque el concepto de

¹ R. CLAUSIUS, 1865, p. 400. Un detallado análisis conceptual de la historia de la termodinámica lo ofrece P. M. HARMAN, 1990.

energía no asumió un significado inequívoco. Esto se vio reflejado en los numerosos textos sobre termodinámica que se escribieron antes de que se cerrara el siglo y que dieron lugar a múltiples controversias sobre la prioridad de sus descubridores y sobre el significado científico y filosófico de las diferentes formulaciones de sus leyes².

Este capítulo explora una definición particular de la disciplina de la termodinámica que los ingenieros José Echegaray, Gumersindo Vicuña y Francisco Rojas llevaron a cabo en España durante el último tercio del siglo XIX. Las características epistemológicas y ontológicas definidas por estos ingenieros en torno a la termodinámica demostraron tener particularidades locales. El concepto de energía, por ejemplo, fue presentado como el resultado exclusivo de la materia en movimiento. Una de las razones por las que estos ingenieros rechazaron la existencia ontológica de una entidad llamada *energía* y la redujeron a materia en movimiento debe buscarse en sus esfuerzos por evitar que la termodinámica fuera utilizada —o relacionada— como argumento legitimador de una visión materialista del universo³. Para ellos fue muy importante divulgar una imagen adecuada y no conflictiva de la termodinámica porque a través de ella legitimaron la institucionalización de una física teórica y unificada en la universidad española.

Estos tres ingenieros fueron protagonistas principales en la consolidación institucional de la cátedra de Física Matemática —donde se enseñó la termodinámica— en la Universidad Central de Madrid y realizaron un gran esfuerzo por definir las características de esta nueva disciplina. No obstante, es importante destacar que una disciplina no es un cuerpo unificado de conocimientos y prácticas científicas que en un momento dado hace su entrada en un contexto determinado. Como ha señalado Mary Jo Nye, el término *disciplina* no puede ser entendido solo en su aspecto conceptual e institucional. A partir de un proceso de construcción de identidades históricas, esta autora ha tratado de reunir en una matriz analítica unos conceptos claves que le permitan identificar la emergencia de una disciplina. Reunidos estos conceptos, ha propuesto una serie de elementos de identidad de una disciplina científica, que sus protagonistas suelen reivindicar en un determinado contexto histórico:

- *Genealogía*, es decir, construcción de una mitología histórica de un origen heroico. Se busca generar la imagen de unos héroes fundadores que aporten una autoridad reconocida de la cual derivar una promoción y legitimación del nuevo campo científico.
- *Un cuerpo de literatura base*. A partir de unos textos básicos se busca consolidar un lenguaje común y un patrón de imágenes compartidas por los practicantes de la disciplina.

² F. BEVILACQUA, 1993, p. 291.

³ S. POHL, 2007.

- *Prácticas y rituales*. Existe una práctica de conocimiento ritual y tácito. Las prácticas del laboratorio o de las asignaturas son rituales que dan sentimiento de pertenencia a un grupo.
- *Homeland*. Espacios de identificación, en los que se incluyen los aparatos y elementos de estudio.
- *Reconocimiento externo*. Otros grupos reconocen la disciplina como un cuerpo bien definido de conocimiento y prácticas de laboratorio.
- *Valores compartidos y problemas no resueltos*. Una forma de ver el mundo que comparte una comunidad y que ayuda a definir la forma de abordar nuevos campos de exploración de la disciplina⁴.

Sin profundizar en estos elementos, parece claro, sin embargo, que una disciplina científica es portadora de una serie de valores que están relacionados con tiempos y lugares específicos, además de con el mundo natural. Como ha mencionado Jan Golinski, una disciplina tiene que ser vista como la encarnación de técnicas concretas, aparatos específicos y formas particulares de discurso, o, usando un término de Ludwig Wittgenstein, las disciplinas científicas pueden considerarse *formas de vida*⁵. En este orden de ideas, la Disciplina, con mayúsculas, de la termodinámica no aparece en España repentinamente, y además puede tener un significado bastante diferente del que podría tener en el mismo momento en otro lugar.

Los textos aquí estudiados se insertan dentro de este proceso de construcción disciplinar en la medida que aportaron una serie de elementos que ayudaron a identificar las características de la física matemática en España. En torno a esta ciencia y a través de textos divulgativos, manuales de enseñanza y conferencias, Vicuña, Echeagaray y Rojas lograron ser considerados como las autoridades locales de la termodinámica, definieron sus campos de estudio y de aplicación, su desarrollo histórico, sus representantes legítimos, su aproximación epistemológica y sus características ontológicas. Los tres fueron catedráticos de Física Matemática en la Universidad Central y miembros de la Real Academia de Ciencias de Madrid. En sus textos se citaron mutuamente y la comunidad científica española los consideró como los representantes oficiales de la física matemática y de la termodinámica.

En el artículo sobre «Termodinámica» que recogía el *Diccionario enciclopédico hispano-americano*, la enciclopedia española más importante de finales del siglo XIX, editada por Montaner y Simón entre 1887 y 1899, se reflejaba el reconocimiento público que habían logrado estos ingenieros. El texto incluía a Echeagaray, Rojas y Vicuña dentro del selecto grupo de científicos internacionales que habían consolidado la ciencia de la termodinámica:

⁴ M. J. NYE, 1993, cap. 1.

⁵ J. GOLINSKI, 1992, p. 284. En términos kuhnianos se podría hablar de un «paradigma» disciplinar que rige la actividad científica de una comunidad determinada. T. KUHN, 1971.

Ciencia que se ocupa del estudio del calor como fuerza, de la energía mecánica de este agente y de su aplicación a las máquinas. [Acto seguido el artículo se dedica a discutir la naturaleza del calor y concluye:] En 1842, Joule, Mayer y Colding formularon casi al mismo tiempo la equivalencia entre el calor gastado y el trabajo producido, [...] se iba por fin a reconocer que el calor no se limita a provocar la producción de un movimiento, sino que lo produce en realidad, que no es una causa ocasional, sino generatriz del movimiento; desde entonces la Termodinámica ha venido a ser una ciencia especial, gracias a los trabajos de Clausius, Clapeyron, Hirn, Rankine, Helmholtz, Thomson, Kirchoff, Bunsen, Vicuña, Rojas y D. José Echegaray, Grove, Laboulaye, Fabre, Jaquier, etc.⁶

Este artículo fue publicado en 1897, época en la que la enseñanza institucional de la termodinámica se empezaba a consolidar en las universidades españolas⁷. No obstante, el ideal mecánico y unificado de la física matemática, que la termodinámica tan bien representaba según estos autores, tuvo que pasar por un largo debate público en el que sus leyes, en relación con cuestiones religiosas e ideológicas, fueron ampliamente discutidas. La exposición que hicieran de la termodinámica estos tres ingenieros estuvo condicionada por el debate que se generó al respecto, especialmente en la década de 1870 y por la debilidad institucional de la enseñanza científica y técnica que vivió España en ese período. En las líneas que siguen se prestará especial atención a las diferencias conceptuales, discursivas y técnicas presentes en los textos y asignaturas de estos ingenieros.

I

LA DEBILIDAD INSTITUCIONAL DE LA FÍSICA TEÓRICA Y APLICADA

Algunas de las primeras obras escritas por españoles que abordaban el tema de la termodinámica o, de forma más general, que trataban la idea de una física unificada bajo una concepción mecánica de la naturaleza vinieron de la mano de un mismo autor. Por un lado, en 1867 se publicó un libro, destinado a un público amplio, que exponía de forma sencilla las últimas teorías de la física, abarcándolas todas ellas en un marco explicativo unificado. El libro llevaba por título *Teorías modernas de la física: unidad de las fuerzas materiales*⁸. Al año siguiente, en 1868, apareció otra obra, de

⁶ *Diccionario enciclopédico...*, 1897, p. 686.

⁷ Una asignatura dedicada exclusivamente a la termodinámica solo apareció en la Facultad de Ciencias en los primeros años del siglo xx; en 1880 se reemplazó la asignatura de Fluidos Imponderables por la de Física Superior, que poco a poco fue incluyendo en su programa la teoría mecánica del calor y los ciclos termodinámicos. Esta materia sería en 1900 de nuevo modificada y dividida en diferentes secciones, entre ellas la de Termodinámica. Por su parte, en las Escuelas de Ingeniería Industrial, en la asignatura de Física Industrial, existía la sección Aplicaciones del Calor. En esta asignatura Rojas expondría a los futuros ingenieros los conceptos básicos de la termodinámica, como más adelante veremos.

⁸ He consultado la segunda edición de este texto: J. ECHEGARAY, 1873.

carácter mucho más técnico, que desarrollaba la ciencia de la termodinámica y llevaba por título *Tratado elemental de termodinámica*⁹. El autor de ambos textos fue el ingeniero de caminos y matemático José Echegaray (1832-1916).

En el primer libro, Echegaray presentaba las nuevas teorías mecánicas del calor y de la luz, y con base en estos ejemplos exponía cómo los otros fenómenos físicos de la electricidad y el magnetismo podían también ser interpretados como fenómenos mecánicos: mediante la concepción mecánica de estos fenómenos se explicaba la conversión de unos en otros. En el segundo, el autor desarrollaba las relaciones físicas que permitían el estudio teórico del ciclo de una máquina térmica para producir trabajo, a partir del equivalente mecánico del calor y de la ley de la entropía. Por el contenido del texto se podría interpretar que estaba destinado a estudiantes o a personas con un interés muy específico y profundo en la materia, y que requería un buen conocimiento del cálculo diferencial e integral.

A lo largo de los restantes años del siglo XIX, muchos de los científicos españoles que abordaron estos temas, ya fuera de forma divulgativa o en textos de enseñanza, hicieron referencia a estos dos libros como parte de sus fuentes. Precisamente, uno de los científicos españoles que citó a Echegaray en sus textos fue el ingeniero industrial y doctor en ciencias exactas Gumersindo Vicuña (1840-1890). Este publicó en 1872 *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y gas con arreglo a la termodinámica*¹⁰, cuyo primer capítulo dedicaba a exponer ampliamente la nueva teoría de la termodinámica, para luego pasar a sus aplicaciones técnicas. En el prólogo, Vicuña recogía las obras que había consultado y mencionaba la de Echegaray¹¹. Al final del libro dedicaba un pequeño capítulo a explicar de forma general el principio de la conservación de la energía. Igualmente, la obra *La termodinámica: su historia, sus aplicaciones y su importancia*, escrita por el ingeniero industrial Francisco de Paula Rojas (1832-1909) en 1876, consignaba que entre los diversos textos consultados para su elaboración se encontraban los trabajos de Echegaray y Vicuña¹².

Estos textos no deben ser interpretados como elementos aislados que hacían su aparición de forma casual y que hoy nos sirven para medir el lapso temporal de la «recepción» de una nueva disciplina por parte de una comunidad científica periférica: son productos que nos informan de un quehacer científico local en un contexto cultural determinado y dentro de unas estrategias específicas.

Una de estas estrategias consistió en lograr la definición y consolidación institucional de la física teórica en las universidades españolas. De hecho, la única asignatura de la Facultad de Ciencias que contemplaba en la década de 1870 la enseñanza de una física teórica era la llamada *Física Matemática*, que pertenecía a la sección de

⁹J. ECHEGARAY, 1868.

¹⁰G. VICUÑA, 1872.

¹¹Ibíd., p. 7.

¹²F. ROJAS, 1876, p. 2.

Ciencias Exactas, la cual daba una formación matemática pero no física. Desde su creación oficial, los planes de estudios de ciencias de las universidades españolas prestaban poca atención a las asignaturas que no fueran de carácter aplicado y utilitario. En este sentido, la Facultad de Ciencias tendía a convertirse en un espacio preparatorio para los futuros ingenieros y no en un espacio legítimo en sí mismo. Por lo tanto, una asignatura como la de Física Matemática era muy poco relevante. De forma significativa, esta cátedra fue retirada del programa de estudios en 1866¹³. La reforma del plan de estudios de la Facultad de Ciencias que se llevó a cabo en ese año era un reflejo del poco interés que el Estado tenía en la educación científica y técnica.

Como herramienta para consolidar la revolución burguesa e industrial en la Península, que no terminó de cuajar del todo a lo largo del siglo XIX, sus protagonistas hicieron un esfuerzo por ofrecer los conocimientos teóricos y prácticos necesarios para el florecimiento y el manejo de la nueva industria¹⁴. La década de 1850 reflejó estos esfuerzos: el estudio de la ingeniería se consolidó, las escuelas de Ingeniería de Caminos, Minas, Montes, Agrónomos e Industriales fueron clasificadas como escuelas de estudios superiores y se abrieron varias de ellas en distintas ciudades de la Península. Además, la ley de educación de 1857 (la llamada *Ley Moyano*) canalizó el ingreso a las escuelas de Ingeniería creando una Facultad de Ciencias en la que era necesario cursar dos años antes de entrar en aquellas. No obstante, en las inmediaciones de la revolución de 1868 la educación superior científica y técnica revelaba su gran debilidad. A excepción de la de Barcelona, todas las escuelas de Ingeniería Industrial fueron cerradas aduciendo falta de estudiantes, y en 1866 varias asignaturas del plan de estudios de la Facultad de Ciencias fueron retiradas por no ser de «absoluta necesidad» (incluida, como ya se ha mencionado, la de Física Matemática). La industrialización no lograba consolidarse, y con ello la educación científica y técnica en las universidades, en especial en el área de las ciencias físicas, adolecía de grandes debilidades: el Estado no invertía en su desarrollo y las salidas profesionales eran muy escasas.

Tanto Echegaray como Vicuña fueron principales protagonistas en la reaparición de la asignatura de Física Matemática en 1871. Por un lado, el primero era en ese momento ministro de Fomento, órgano que decidía la instrucción pública, y además fue el presidente del tribunal que seleccionó a su catedrático. Vicuña, por su parte, fue el elegido¹⁵. En 1890, tras la muerte de Vicuña, Rojas fue designado como nuevo catedrático, y años más tarde, en 1905, Echegaray lo reemplazó.

¹³ Esta reforma fue realizada por el entonces ministro de Fomento Manuel de Orovio. Además de eliminar la citada asignatura, también suprimió la de Fluidos Imponderables y redujo las secciones de la Facultad de Ciencias a dos. Al respecto, véase A. MORENO GONZÁLEZ, 1988.

¹⁴ Peset, Garma y Pérez Garzón ofrecen un esbozo del cultivo de las ciencias como elemento integrante del proceso revolucionario burgués español del siglo XIX. J. L. PESET *et al.*, 1978.

¹⁵ El recuento detallado de la oposición se encuentra en el expediente de Física Matemática de la Universidad Central, Archivo General de la Administración (AGA), 32/07427.

En este contexto de debilidad institucional de la física, Echegaray, Vicuña y Rojas buscaron el reconocimiento público y especializado del que derivar la autoridad necesaria para conseguir legitimar el tipo de física que a ellos les interesaba, y lograr así su consolidación en la enseñanza oficial.

Siguiendo a Max Weber, la legitimación puede ser entendida como una serie de creencias extendidas a través de las cuales las instituciones obtienen su justificación y, en caso de conflicto, una defensa contra la oposición¹⁶. En este sentido, los textos de Vicuña y Echegaray aportaron diferentes argumentos que justificaban la existencia de una carrera de física teórica. El primer argumento utilizado, y que funcionaba en el nivel político, consistió en presentar la física teórica española como una fuente de prestigio nacional. Este discurso estaba destinado a convencer a los políticos de que el Estado debía invertir en la consolidación de una Facultad de Ciencias que, entre otras cosas, formara físicos puros y aportara sólidas bases a los futuros ingenieros. La necesidad de su existencia institucional, a pesar de las dificultades, era presentada como una cuestión nacional. Vicuña y Echegaray utilizaron como estrategia para su legitimación el prestigio que tenía la asignatura. A través de las páginas de la *Revista de Obras Públicas* y de la *Revista de la Universidad Central*, respectivamente, lanzaron una proclama nacionalista para convertir la Facultad de Ciencias en una institución que representara internacionalmente a la ciencia española y se convirtiera en el lugar de España donde se enseñara la física teórica que tanto prestigio había dado a otras naciones europeas¹⁷. Como dijera Echegaray en la *Revista de Obras Públicas*, «sabrán en el extranjero que hay en España por lo menos una docena de hombres —los profesores de la facultad— que conocen y explican la ciencia moderna»¹⁸.

Pero, a pesar de representar una fuente de prestigio internacional, la cátedra de Física Matemática seguía siendo una asignatura de poco interés para los estudiantes de la Facultad de Ciencias. Esta no lograba consolidarse como espacio legítimo en sí mismo y la calidad de sus estudios no gozaba de buen prestigio. De hecho, después de 1868 ya no era obligatorio para los futuros ingenieros realizar su preparación científica en ella, sino que podían optar por una preparación privada. Pero la calidad de los estudios en la Facultad estaba tan poco valorada que se prefería esta última opción, y por lo general no se aceptaban estudiantes provenientes de la Facultad sin un previo examen de admisión.

Así pues, Vicuña se enfrentaba a una ardua tarea como catedrático de la asignatura de Física Matemática. Para él era evidente la necesidad tanto de aumentar el reconocimiento de la cátedra como de buscar fórmulas que volvieran viable este tipo de asignaturas en el contexto institucional español. Para este fin, a lo largo de la década

¹⁶ W. van der DAELE y W. KROHN, 1983, p. 237.

¹⁷ Véase G. VICUÑA, 1873, y J. ECHEGARAY, 1866. Aunque este último artículo no viene firmado, Sánchez Ron ha demostrado la autoría de Echegaray. Véase J. SÁNCHEZ RON, 1990a, p. 96, y 1990b, pp. 21-22.

¹⁸ J. ECHEGARAY, 1866, p. 264.

de 1870 publicó una serie de textos en los que destacaba la importancia de la asignatura y su relación con la termodinámica¹⁹. En estos textos, Vicuña proporcionaba criterios generales para el diseño de un plan de estudios que ofreciera mayores expectativas a sus alumnos. Proponía elevar el prestigio de la Facultad generando un espacio reconocido donde se pudieran preparar los futuros ingenieros y se adquiriera una sólida formación científica. Es decir, recurría a un modelo que, debido a las circunstancias económicas locales, trataba de no separar la Facultad de las escuelas especiales para no perder la mayoría de su alumnado. No obstante, aquella debía mantener «encendido el sagrado fuego de la especulación [porque, aunque] sus resultados no serán inmediatos, el país recogerá tarde o temprano los frutos, pues sin la ciencia pura las aplicaciones degeneran pronto en vil rutina, estéril para el invento»²⁰. Una vez alcanzadas estas circunstancias, sería posible una verdadera profesionalización de la física teórica.

La propuesta institucional y pedagógica de la física matemática de Vicuña se reflejó de forma notoria en su libro de texto sobre termodinámica, en el que se combinaban conocimientos prácticos para los ingenieros con un detallado desarrollo teórico de la física. *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y gas con arreglo a la termodinámica* (1872) desborda la noción tradicional de libro de texto y demuestra la importancia de los manuales como fuentes históricas²¹. En el prólogo se consignaba que estaba destinado a los ingenieros. Era necesario, comentaba el autor, que los ingenieros no solo supieran dirigir una máquina, sino que conocieran los fenómenos físicos que en su interior ocurrían y, por lo tanto, entendieran la teoría que explicaba estos fenómenos. Así, comentaba Vicuña, su obra no «calculaba un motor» como ordinariamente se hacía, basándose en el uso de coeficientes numéricos adquiridos en la práctica por ingenieros y constructores, sino a partir de la teoría «verdaderamente racional y satisfactoria, deducida de la termodinámica»²². Además, el libro incluía un capítulo dedicado a exponer la teoría cinética de los gases desarrollada por Rudolf Clausius. En la última parte del texto aparecía igualmente una sección dedicada a la conservación de la energía, en la que se explicaba cómo se verificaba en la naturaleza la transformación de energía eléctrica en energía calorífica a partir de las acciones químicas. También se hablaba de energía orgánica, es decir, de la transformación de energía calorífica en energía animal.

¹⁹ Véase, por ejemplo, G. VICUÑA, 1873, 1875 y 1883.

²⁰ G. VICUÑA, 1875, p. 64.

²¹ Según Thomas Kuhn, los libros de texto forman parte de un proceso pedagógico en el que se definen y perpetúan los paradigmas en los que se desarrolla la investigación científica durante la ciencia normal. T. KUHN, 1971, pp. 213-214. Actualmente se cuestiona la definición de este autor. Los libros de texto han demostrado ser una importante fuente de investigación histórica que refleja procesos locales de apropiación. Al respecto, véase J. R. BERTOMEU *et al.* (eds.), 2006.

²² G. VICUÑA, 1872, p. 5.

Pero estas secciones no parecían ser muy relevantes en un libro destinado a ingenieros dedicados a la construcción y optimización de máquinas térmicas. Por un lado, la exposición de la teoría cinética de los gases no aportaba ningún conocimiento positivo en el estudio de los ciclos de una máquina. De hecho, el desarrollo de los ciclos no necesitaba basarse en la naturaleza del calor; por el contrario, para la teoría cinética de los gases era una cuestión básica y un punto de partida. Por otro lado, los libros de texto de la época sobre termodinámica no incluían la exposición de la teoría cinética de los gases de Clausius y no se referían a la teoría mecánica del calor como verdad absoluta en la que se basaba la termodinámica. Algunos manuales sobre termodinámica que fueron utilizados en España y a los que nos referiremos más adelante eran una muestra de esa posición que evitaba relacionar la termodinámica con las hipótesis sobre la naturaleza del calor²³.

Así pues, el texto de Vicuña puede ser visto como un instrumento con el que se trataba de relacionar una ciencia experimental y de gran utilidad en la ingeniería con un tratamiento teórico de los gases, representante a su vez de una física teórica. Aunque el libro desarrollaba los principios experimentales de la termodinámica, su autor presentaba esta ciencia como una disciplina teórica que surgía a partir de la hipótesis mecánica del calor. Y, en este sentido, la obra constituía un ejemplo tangible del modelo que la Facultad de Ciencias podía adoptar en sus clases: a partir de un conocimiento teórico, compartido entre físicos e ingenieros, se desarrollaba una ciencia útil, pero este conocimiento proseguía sus especulaciones y volvía al ámbito de la física teórica, cerrando, por así decirlo, un ciclo. En otras palabras, el autor agrupaba en un solo texto el tipo de conocimientos que podían ser fructíferos tanto para ingenieros como para físicos, lo cual permitía concebir un espacio (la Facultad de Ciencias) con esas mismas características. Como se ha mencionado anteriormente, Vicuña veía en la preparación de los ingenieros una función que permitiría a la Facultad de Ciencias, en el contexto español, asegurar su existencia y fortalecerse. La creación de la sección de Ciencias Físico-Matemáticas dentro de la Facultad de Ciencias a partir de 1880 sería un paso importante en sus aspiraciones. De esta forma, los licenciados en Ciencias Físico-Matemáticas vieron ampliada la asignatura de Fluidos Imponderables en dos cursos de Física Superior con sus respectivas prácticas. Además, fue requisito cursar primero las asignaturas de Cálculo Diferencial e Integral y la de Mecánica Racional, lo que reflejaba que los temas físicos iban a tener un tratamiento más matemático²⁴. Solo dentro de este plan de estudios el manual de termodinámica de Vicuña se convertía finalmente en un libro de texto de física matemática.

²³ Véase, por ejemplo, P. SAINT-ROBERT, 1882, y J.-L. BERTRAND, 1887.

²⁴ Sobre el carácter poco matemático del estudio de la física en el plan de estudios que tuvo la Facultad durante la década de 1870 se pronunció el doctor en Ciencias Físico-Matemáticas Eduardo Lozano, catedrático de Física Superior en la Universidad de Barcelona, en el prólogo de *Elementos de termodinámica*, de 1899: «Encargado durante doce años de explicar los dos cursos de Física Superior

II

LA «CATEGORÍA» TEÓRICA DE LA TERMODINÁMICA

Vicuña se esforzaba por definir las características epistemológicas de la física matemática y demostrar que su cultivo repercutía de forma positiva en la ciencia aplicada. Una de sus principales características consistía en basarse en hipótesis mecánicas y, a partir de ellas, perseguir explicaciones unificadoras. Como comentaba en un artículo destinado precisamente a definir el «Concepto y clasificación de las ciencias físico-matemáticas», la búsqueda de generalización era esencial:

No debe cuidarse tanto en su enseñanza de hacer notar la aplicación cuantitativa de los varios fenómenos de la Óptica, Acústica, Electro-dinámica, etc., como de exponer el análisis común a la Acústica y Óptica, el que lo es de la Termostática y Electricidad, el de la Electrodinámica y Termodinámica. Antes que estudiar, por ejemplo, los fenómenos todos de la polarización de la luz, es preferible, en nuestra opinión, ocuparse de las teorías de los movimientos vibratorios, de la energía y del potencial, que son comunes a diversas partes, y que servirán aún de modo de investigación para otras²⁵.

Para esta definición, el papel de la termodinámica fue muy importante porque, desde la perspectiva de los autores estudiados, era el ejemplo más apropiado para demostrar que a partir del cultivo de la física especulativa se obtenían resultados favorables para el progreso material.

Uno de los aspectos que se percibían en la termodinámica era su carácter articulador y unificador a la hora de abordar diferentes fenómenos físicos, en la medida que demostraba lo fructífero de las teorías mecánicas. Pero ¿qué quería decir exactamente *una explicación unificada y mecánica de los fenómenos*? Esta pregunta la respondía de forma sencilla Echegaray en su libro sobre las teorías modernas de la física. Recurriendo a los ejemplos del calor y la luz, explicaba cómo estos fenómenos podían ser entendidos en términos mecánicos, es decir, en términos de partículas de materia que al chocar entre sí los originaban. El calor y la luz se podían entender simplemente como un tipo de movimiento de la materia. Para los fenómenos de la electricidad y el magnetismo, apuntaba el autor, aunque su ontología mecánica no estaba

en la Universidad de Barcelona, he tenido ocasión de apreciar la última reforma de la Facultad de Ciencias [realizada en 1880], que reemplazó por esta asignatura la antigua de Fluidos Imponderables, cuya sola denominación basta para comprender el erróneo concepto que implicaba semejante anacronismo. La necesidad de que los alumnos que pretenden adquirir un conocimiento serio de la Física moderna vengan preparados con las nociones indispensables de Cálculo Diferencial e Integral, y aun de Mecánica Racional, fue reconocida oportunamente por el Consejo de Instrucción Pública, y en consecuencia aprobada por la Superioridad, estando vigente desde el año 1880: porque salta a la vista de los menos peritos en la materia que los doctores en Ciencias Físico-Químicas, que no pasan del estudio de la Geometría Analítica, carecen de los fundamentos que en la actualidad se requieren para estudiar la Física que no sea puramente experimental». E. LOZANO, 1899, p. 1.

²⁵ G. VICUÑA, 1873, p. 139.

demostrada, la física moderna tendía a interpretarlos igualmente de forma mecánica. La física matemática se presentaba entonces como una ciencia basada en la especulación teórica que suponía que los fenómenos físicos podían ser representados mediante modelos mecánicos de materia y movimiento, lo que a su vez permitía abordarlos matemáticamente y relacionarlos entre sí.

La termodinámica aportaba las pautas para interpretar y manejar otros fenómenos, de manera análoga a como la teoría mecánica lo había hecho con el calor. Además, la termodinámica tenía otro gran mérito: su íntima relación con las máquinas térmicas, es decir, su capacidad para aportar una mejor comprensión del funcionamiento de los ciclos térmicos y, por lo tanto, la posibilidad que ofrecía para su optimización, símbolo a su vez del progreso económico. Este discurso de progreso fue desarrollado especialmente por Rojas en su libro sobre la historia de la termodinámica (1876). En efecto, la nueva ciencia del calor era presentada por Rojas como el gran logro científico del siglo XIX, resaltando que las hipótesis mecánicas debían ser adoptadas en todos campos de la física para su verdadero progreso.

Rojas exponía las ideas de Echegaray y Vicuña como una fuente de su propio libro en los términos siguientes: «En España hemos visto publicadas la obrita de D. Gumersindo Vicuña, y las notabilísimas especulaciones científicas del sabio Echegaray sobre puntos de la mayor importancia en la Teoría mecánica del calor»²⁶. Asimismo, una memoria de Rojas presentada en la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona en 1877 y titulada *El problema físico y el químico se resolverán en el mecánico* era una clara continuación del modelo de física expuesto por Echegaray en *Teorías modernas de la Física*.

El libro de Rojas fue publicado y ampliamente difundido gracias al auspicio del Ateneo Barcelonés. Su autor resultó ganador de un concurso público del Ateneo, abierto en 1873, que tenía como objetivo premiar la mejor obra que se presentara sobre la nueva ciencia de la termodinámica. Su difusión se vio asegurada, ya que se regaló a bibliotecas públicas y particulares y a los establecimientos de instrucción del Reino²⁷.

A través de esta institución catalana aparecía, pues, un libro que exponía de forma detallada el desarrollo de la nueva ciencia de la termodinámica y que era accesible a un público amplio. Es posible pensar que la burguesía industrial catalana tuviera un especial interés por promover este tipo de publicaciones. De hecho, Cataluña fue el núcleo industrial más importante de la España del siglo XIX y, por ende, el lugar

²⁶ F. ROJAS, 1876, p. 2. A lo largo del libro, Rojas nombraba además como fuentes de su trabajo a Zeuner, *Teoría mecánica del calor con sus aplicaciones a las máquinas*; Clausius, *Colección completa de sus memorias*; Hirn, *Memoria presentada a la Academia de Ciencias de París y Consecuencias filosóficas y metafísicas de la termodinámica*; Tyndall, *Calor como un modo de movimiento*; Rankine, Helmholtz y Mayer, *Observaciones sobre las fuerzas de la naturaleza inanimada*; Thomson y Secchi, *La unidad de las fuerzas físicas*.

²⁷ Al respecto, véase el expediente de Rojas de la Universidad Central de Madrid, AGA 31/16616.

donde las máquinas térmicas en general tenían mayor presencia. La difusión de la termodinámica, que permitía un estudio teórico de estas máquinas y, por consiguiente, su optimización, puede ser interpretada como un tema de especial interés en ese contexto. La única escuela superior de Ingeniería Industrial que seguía funcionando entonces en España era la de Barcelona, auspiciada en gran parte por la demanda de formación técnica por parte del empresariado catalán²⁸.

Mediante el recurso de la historia, Rojas tenía una herramienta excelente para presentar la termodinámica como el fruto de una física basada en hipótesis mecánicas. El origen de esta ciencia, decía, se debía a un ejercicio estrictamente teórico, ejercicio que era característico del tipo de física que él quería representar y que había sido tan bien delineado en los trabajos de Echegaray. Una vez realizada esta definición epistemológica de la termodinámica en la que se resaltaba la especulación teórica, Rojas podía construir un discurso que asociaba las hipótesis mecánicas como garantes de progreso científico y material. Al respecto, Rojas comentaba:

La Termodinámica, ciencia que estudia y formula las relaciones entre el calor y los efectos mecánicos, considerándolos respectiva y alternativamente como causa y efecto, es hija de nuestro siglo, y el mayor título de gloria científica que este podrá presentar ante las venideras generaciones. Tan grande ha sido ya su influencia en la Física general; tan vivísima luz ha arrojado sobre los más oscuros fenómenos del calor; tanto ha esclarecido otros relativos a la electricidad y magnetismo; tanto poder tienen sus principios en el campo de la Fisiología y la Química, especialmente sobre ciertos problemas antes oscurísimos de la vida animal y vegetal; tan fecundas han sido sus fórmulas aplicadas a los problemas de la expansión de los gases, de los cambios de estado, de la expansión de los vapores, del movimiento de los gases, del trabajo en todas las máquinas térmicas, que puede asegurarse que ha hecho una revolución en las ciencias físicas y fisiológicas²⁹.

Una vez desarrollada la parte histórica de la termodinámica, el autor exploraba el alcance de esta ciencia en otros campos, tales como la química, la mecánica aplicada, la fisiología y la astronomía. En todos ellos exponía la posibilidad de una concepción mecánica y, por lo tanto, más racional de sus fenómenos, gracias a la termodinámica. De todos estos ejemplos, el que recibía una mayor atención era el de las máquinas térmicas. Rojas explicaba de forma detallada las ecuaciones teóricas que expresaban la forma de optimizar el funcionamiento de estas máquinas. Mediante la exposición de estas ecuaciones, que se deducían de la ciencia de la termodinámica, promocionaba la termodinámica como herramienta primaria de trabajo para los ingenieros. Así lograba otorgar más credibilidad pública a esta ciencia a través del campo de la ingeniería, la cual tenía un mayor grado de reconocimiento debido a sus aportaciones tangibles al mundo material. Las máquinas térmicas eran percibidas, al menos por una parte del público, como el símbolo indiscutible del progreso no ya científico sino social y económico.

²⁸ Véase G. LUSA, 1997 y 2007.

²⁹ F. ROJAS, 1876, pp. 1-2.

Aunque no todo el mundo veía en las máquinas la llave del progreso, existía una percepción de prosperidad económica y social a causa de su extendido uso. El empleo relativamente grande de maquinaria industrial basada en la tecnología del vapor se reflejaba en la creación de compañías dedicadas a su construcción. Empresas como Alexander Hnos., La Maquinista Terrestre y Marítima o Nuevo Vulcano, todas en Barcelona, o Portilla & White en Sevilla eran importantes constructoras de máquinas de vapor en la segunda mitad del siglo XIX. La industria textil catalana demandó especialmente energía mecánica, acaparando en la década de 1860 más de la mitad de los caballos de vapor instalados por la industria en España³⁰. La bucólica imagen del tren humeante recortando distancias entre las poblaciones españolas o las innumerables imágenes de máquinas que llenaban las páginas de las revistas de la época eran una constatación de la asociación del progreso con las máquinas térmicas. Rojas reconocía en el significado de las máquinas un elemento esencial para legitimar institucionalmente la termodinámica. El desarrollo de las máquinas no tenía una relación directa con la teoría mecánica del calor, pero era precisamente la construcción de un escenario donde se las vinculaba con el progreso lo que aprovechaba Rojas.

En consecuencia, lo que de una u otra forma se transmitía a través de los textos y discursos de Vicuña, Echegaray y Rojas era la ecuación que igualaba progreso científico, y también económico, con una «física moderna» caracterizada por un cuerpo unificado de conocimiento y abordada matemáticamente. Su principal característica epistemológica se basaba en el recurso de hipótesis mecánicas, a través de las cuales, apuntaban estos autores, se lograban las más altas generalizaciones de la física. A partir de esta definición, la termodinámica fue presentada entonces como el resultado de una aproximación fisicomatemática al estudio del calor. Pero esta definición epistemológica y ontológica de la física matemática, así como su relación con la termodinámica, no era evidente: había que construirla. Además de los esfuerzos de Vicuña, los textos de Rojas y Echegaray desempeñaron un papel esencial en este proceso.

Para Echegaray era de capital importancia en el proceso de unificación que estaba experimentando la física el hecho de que la gran ley en la que convergían las diversas leyes empíricas se apoyara en la más racional de las ciencias físicas, la mecánica, o, como él la llamaba, *la ciencia de las cantidades*. En general, esta posición la condensaba el autor en la siguiente frase:

Es innegable que esta especie de fusión de fenómenos aislados, y al parecer radicalmente distintos, en uno solo general que los identifica, y que se expresa por una gran ley, es un importantísimo adelanto; adelanto tanto mayor, en el caso que nos ocupa, cuanto de este modo la Física viene a ser una especie de Astronomía molecular, sujeta al análisis algebraico, y recibiendo de la ciencia de la cantidad y del orden su último grado de perfección³¹.

³⁰ R. GARRABOU, 1982, p. 135.

³¹ J. ECHEGARAY, 1873, p. 50.

Así pues, Echegaray aportaba uno de los rasgos fundamentales para medir el progreso de la física: en la medida en que esta basaba su cuerpo explicativo en modelos esencialmente mecánicos, que a su vez estaban sujetos, por lo menos en teoría, a un tratamiento puramente matemático, se acercaba a una ciencia perfecta que se encarnaba en la *física matemática*. En esencia, el libro de Echegaray definía las fronteras y características de la física matemática y a su vez trataba de legitimar frente al mayor público posible la validez de esta disciplina y de su enseñanza, al presentarla como garante del progreso científico.

Tanto Echegaray en su texto como Rojas en su libro sobre la historia de la termodinámica construyeron una narración histórica en la que la física progresaba en la medida que se matematizaban y unificaban sus fenómenos. Presentar la termodinámica como el fruto de esta nueva física fue el principal argumento utilizado para caracterizar un proceso lineal de progreso en la física. La historia de la termodinámica se prestaba muy bien a este tipo de narración. Como ambos autores exponían, el estudio del calor pasaba de ser cualitativo y basado en una hipótesis falsa —la materialidad del calor, el llamado *calórico*— a ser cuantitativo, descriptible matemáticamente, gracias a que se le había adjudicado la hipótesis correcta de su naturaleza. Ambos autores utilizaban la teoría material del calor como característica de la antigua física y como freno de su avance. Esta teoría se basaba en el supuesto de que el calor era un fluido muy elástico, imponderable e indestructible, y se encontraba en todos los cuerpos. Así, cuando un cuerpo era calentado, este fluido, llamado *calórico*, fluía desde la fuente de calor hacia el cuerpo calentado, por lo que la temperatura de este dependía de la cantidad de calórico que tuviera. Si el cuerpo era enfriado perdía calórico. Las partículas de los cuerpos y las del calórico sentían entre sí fuerzas repulsivas, con lo cual, al aumentar el calórico en un cuerpo o gas, este tendía a expandirse³². La teoría material del calor, basada en una física especulativa y conjetural, fue muy popular a finales del siglo XVIII y logró explicar de forma satisfactoria los principales fenómenos de la física y la química, tales como el calor latente, la expansión térmica, el calentamiento adiabático y el calor de las reacciones químicas³³.

Así pues, la teoría mecánica del calor representaba la línea divisoria con respecto a la «física antigua»³⁴, que no obstante compartía las mismas características de la física que Echegaray y Rojas proclamaban moderna: el tratamiento matemático de los fenómenos a partir de modelos mecánicos y la búsqueda de unidad. Sin embargo, antes de recurrir a la termodinámica como principal elemento diferenciador entre la física antigua y la moderna, había que dejar en claro que la termodinámica era el resultado exclusivo de una física teórica y ontológicamente mecánica.

³² Sobre el llamado *modelo estándar de los fluidos imponderables* de finales del siglo XVIII, véase J. HEILBRON, 1993.

³³ Al respecto, véase R. FOX, 1971, caps. 1 y 2.

³⁴ F. ROJAS, 1876, p. 14.

Tanto Echegaray como Rojas acudían a ejemplos cotidianos para explicar la naturaleza del calor y su capacidad de convertirse en trabajo. La teoría mecánica del calor y la idea de unidad eran fácilmente explicables a partir de unos ejemplos, aparentemente sencillos, corroborados experimentalmente. En primer lugar, era un hecho que el trabajo mecánico se podía convertir en calor, como mostraban, por ejemplo, los experimentos que el físico inglés James Prescott Joule (1818-1889) había realizado en la década de 1840 y que le habían valido ser considerado posteriormente como uno de los descubridores de la ley de la conservación de la energía³⁵. De igual forma, era evidente que el choque inelástico de dos cuerpos, por ejemplo cuando una bala se estrella contra una pared, producía calor. Precisamente con estos dos ejemplos Echegaray empezaba la exposición de la nueva ciencia del calor en su obra de divulgación:

El calor es un movimiento que los ojos no ven, pero que los sentidos, bajo una forma especial, perciben: por eso el calor se transforma en fuerza y movimiento, como sucede en las máquinas de vapor; y al contrario el movimiento y la fuerza desaparecen y se anulan, brotando en cambio cierta cantidad de calor que antes no existía, como sucede en los choques³⁶.

Por un lado, Joule había logrado medir con precisión la cantidad de calor que se convertía en trabajo en ciertos procesos mecánicos. Así, la unidad del calor, que en ese tiempo se denominaba *caloría* y expresaba la cantidad de calor requerida para elevar una determinada cantidad de materia a una temperatura concreta³⁷, era, según estos experimentos, equivalente a la unidad de trabajo, comúnmente llamada *kilográmetro*³⁸. El trabajo se definía como la cantidad de fuerza aplicada a un cuerpo multiplicada por la distancia que recorría el cuerpo debido a esta fuerza. El experimento de Joule demostraba que una caloría, multiplicada por un determinado factor, era equivalente a un kilográmetro. En otras palabras, era posible derivar de esta experiencia que la esencia del trabajo y la del calor eran la misma. Por extrapolación se podía entonces esclarecer y comprender la esencia o naturaleza del calor —ya que sería la misma que la del trabajo: materia en movimiento—, cuantificado bajo el concepto mecánico de *fuerza viva*. Así, el calor podía ser comprendido como un tipo de fuerza viva.

³⁵ Véase C. SMITH, 1998, pp. 70-73 y 79-81.

³⁶ J. ECHEGARAY, 1873, p. 23.

³⁷ En ese momento, una caloría se definía como la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un kilogramo de agua un grado centígrado, suponiendo que la cantidad de calor necesaria para aumentar un grado de temperatura era constante a lo largo de la escala de temperaturas para el agua en estado líquido.

³⁸ El término *kilográmetro* o *kilogramometro*, aunque erróneo en sentido estricto, era y sigue siendo utilizado, especialmente en el ámbito de la ingeniería, como unidad de trabajo. El error estriba en que el kilogramo no es una unidad de fuerza, sino de masa; lo correcto sería entonces denominarlo *newtonmetro*, lo que no es otra cosa que la actual *unidad de Joule o julio*.

Así pues, a partir de ejemplos concretos se lograba un discurso coherente y fácilmente asimilable de conceptos tan complejos y abstractos como la conservación de las fuerzas en la naturaleza a partir de su transformación, que se reducía a un cambio de movimiento de la materia. La capacidad explicativa del modelo mecánico aplicado al calor residía en su cercanía a fenómenos cotidianos y su inteligibilidad visual, a diferencia de lo que ocurría con el estudio mecánico de la luz. La suposición de que la fuerza viva de las partículas del éter se conservaba en el momento de reflejarse y refractarse era el punto de partida para el desarrollo matemático de la óptica mecánica, pero para demostrar la validez de esta hipótesis se tenía que realizar un complejo desarrollo matemático. La teoría mecánica de la luz no abarcaba procesos de conversión ni aportaba experimentos mecánicamente inteligibles que demostraran su conversión de un tipo de fuerza viva en otro.

Aunque la termodinámica cumplía un papel fundamental en la exposición de la física moderna en los discursos de Echegaray y Rojas, su verdadera posición dentro del campo de la física matemática no estaba tan clara. Dicho de otra forma, considerar la termodinámica como fruto exclusivo de la física matemática no era tan evidente. Estas cuestiones, que Echegaray evitaba sacar a la luz en su libro de divulgación, eran discutidas, no obstante, en escritos presentados ante la Real Academia de Ciencias de Madrid, o, posteriormente, a sus alumnos de la cátedra de Física Matemática³⁹. Parte del problema lo resumía el propio Echegaray frente a la Academia de Ciencias de Madrid, en 1894, de la siguiente manera:

En la hipótesis mecánica se funda toda la termo-dinámica, por más que se empeñen algunos autores ilustres en hacer de esta ciencia una ciencia puramente experimental. Lo es, a no dudarlo; pero si se prescinde de aquella hipótesis sencillísima que considera al calor como un movimiento vibratorio de la materia ponderable y del éter, haciendo que entre de este modo en la gran síntesis de la Física matemática, todas las fórmulas empleadas en dicha ciencia, por mucho que sea el talento de los autores, y los hay tan ilustres como Mr. Bertrand, serán fórmulas áridas y secas, traducción fría de resultados experimentales, sin luz que las ilumine, sin belleza científica, sin una imagen material, sea o no simbólica, en que la inteligencia repose y se recree. [...] Sin la experimentación, la ciencia carece de cimiento sólido. [...] Pero sin las grandes hipótesis mecánicas y sin la aplicación del análisis matemático, la ciencia no tendría más que cimientos y muros: ni columnatas, ni torres atrevidas, ni cresterías prodigiosas, ni todo lo que representa la aspiración a ganar alturas y horizontes y a cuajar de bellezas el espacio⁴⁰.

Este hecho era evidente: si no se partía de la base de que el calor era una forma de movimiento, como proponían algunos autores al decir que el desarrollo de la ter-

³⁹ Véase, en especial, J. ECHEGARAY, 1883, 1894 y 1905.

⁴⁰ J. ECHEGARAY, 1894, pp. 38-39. El personaje al que Echegaray hacía referencia era el matemático francés Joseph-Louis Bertrand (1822-1900).

modinámica era independiente de la naturaleza del calor⁴¹, el discurso de Echegaray se veía gravemente perjudicado en sus cimientos. En primer lugar, al eliminar el carácter mecánico del calor y dejar como pregunta abierta su naturaleza, la exposición de la termodinámica perdía las características que le permitían ser un excelente representante de la física matemática, y con ello se perdía una gran herramienta en el proceso de consolidar y promover esa rama de la física en España. Si la primera ley de la termodinámica se interpretaba como una constatación experimental que relacionaba el trabajo con el calor y la segunda como una ley axiomática que enunciaba un comportamiento irreversible de la naturaleza, ya no sería posible mostrar que sus grandes triunfos se derivaban de una ciencia teórica y todo el crédito se lo llevaría la ciencia experimental, y con ella los que se oponían a un tratamiento del estudio de la naturaleza basado en teorías generales o los que estaban a favor de aproximaciones fenomenológicas.

Además, presentar a la termodinámica como fruto de la física matemática implicaba asociar dos aproximaciones divergentes a los fenómenos físicos. Por un lado, se estaba recurriendo a la utilidad de la termodinámica como método para optimizar las máquinas térmicas; por otro, se ponía énfasis en su fundamento mecánico-hipotético. Esto era bastante peculiar porque la termodinámica, como herramienta conceptual de los ingenieros, se presentaba generalmente como una ciencia basada estrictamente en la experimentación, que no dependía en absoluto de hipótesis mecánicas y cuyas leyes se derivaban de hechos empíricos. La termodinámica no lograba penetrar en la intimidad de los fenómenos que estudiaba, se quedaba en relaciones globales de sistemas macroscópicos, siendo imposible la deducción teórica de sus principios y, por consiguiente, la predicción analítica de sus fenómenos.

Así pues, la única forma de vincular la física matemática con la termodinámica se basaba en su concepción mecánica, que le permitía vislumbrar un momento en que fuera posible conocer las velocidades y las masas de las partículas que componían los cuerpos y así aplicar las leyes de la mecánica a estos sistemas cuando recibían o perdían calor, es decir, cuando sus velocidades aumentaban o disminuían. En este sentido, Echegaray veía en la obra del físico alemán Rudolf Clausius los mayores avances, en lo que se llamaba *teoría cinética de los gases* y que calculaba la presión de un gas a partir de la velocidad media de sus partículas, pero esta teoría no era fructífera para dar cuenta de los fenómenos térmicos en los que se producía trabajo u otros efectos.

⁴¹ Macquorn Rankine (1820-1872), uno de los fundadores de la termodinámica, al referirse a ella en un artículo para la primera edición de la *Cyclopedia of the physical sciences*, editada por J. P. Nichol y publicada en 1857, afirmaba: «A pesar de que las hipótesis mecánicas [...] pueden ser útiles e interesantes como medio para anticipar leyes y para conectar la ciencia de la termodinámica con la de mecánica ordinaria, se debe recordar que la ciencia de la termodinámica no depende de ningún modo, para su certeza, de esa hipótesis o de ninguna otra, habiendo sido reducida esta ciencia a un sistema de principios o hechos generales que expresan estrictamente el resultado experimental de la relación entre el calor y la fuerza motriz». Citado en C. SMITH, 1998, p. 165 (la traducción es mía).

En un discurso presentado en la Real Academia de Ciencias de Madrid en 1883, el propio Echegaray reconocía una serie de obstáculos con que se había encontrado la ciencia del calor al tratar de recibir un tratamiento físico-matemático⁴². A partir de las leyes del movimiento vibratorio desarrolladas por Cauchy, argumentaba Echegaray, se podía dar un tratamiento físico-matemático a los fenómenos de la óptica, la acústica y la elasticidad, prediciendo analíticamente el comportamiento de estos, pero, al tratar de hacer lo mismo con fenómenos relacionados con el calor, por ejemplo con la dilatación de los cuerpos, el resultado era evidentemente contrario a la experimentación⁴³.

No obstante, el énfasis en que la termodinámica era una ciencia que emergía a partir de una especulación teórica caracterizada por hipótesis mecánicas se reflejaba claramente en el libro de texto escrito en 1868 por Echegaray. Este, en sus memorias, calificaba el texto de «obra de alta ciencia» que tenía como objeto «ir despertando estas aficiones matemáticas en España»:

La obra a que me refiero estaba inspirada en los trabajos más modernos, por entonces, del extranjero, y era materia desconocida en España y que no se enseñaba en ninguna parte, ni en Escuelas especiales, ni en Institutos; por de contado, ni en los libros de Física de entonces, ni en las Universidades tampoco aparecía⁴⁴.

A primera vista es un poco sorprendente que un ingeniero de caminos dedicado en ese momento a dar clases de Matemáticas en la Escuela Especial de Caminos de Madrid publicara un libro de texto sobre termodinámica. Y más aún que lo hiciera en un momento en que su enseñanza no estaba contemplada ni en las universidades ni en las escuelas especiales. En ese sentido, el *Tratado elemental de termodinámica*, más que aportar una herramienta de enseñanza para una materia inexistente en ese momento en España, otorgaba a Echegaray una prueba concreta para demostrar que era el poseedor fidedigno del conocimiento que divulgaba.

Para realizar su obra, Echegaray se había basado principalmente en los *Principios de termodinámica* (1865) del italiano Paolo Ballada, conde de Saint-Robert (1815-1888). Según el español, este texto era el que mejor aportaba «la claridad y el método que tan necesarios son en las obras didácticas»⁴⁵. En el libro de Saint-Robert se evitaba discutir la naturaleza del calor y se resaltaba que las leyes de la termodinámica eran el resultado exclusivo de observaciones experimentales⁴⁶.

⁴² Véase, en especial, J. ECHEGARAY, 1883, pp. 81-90.

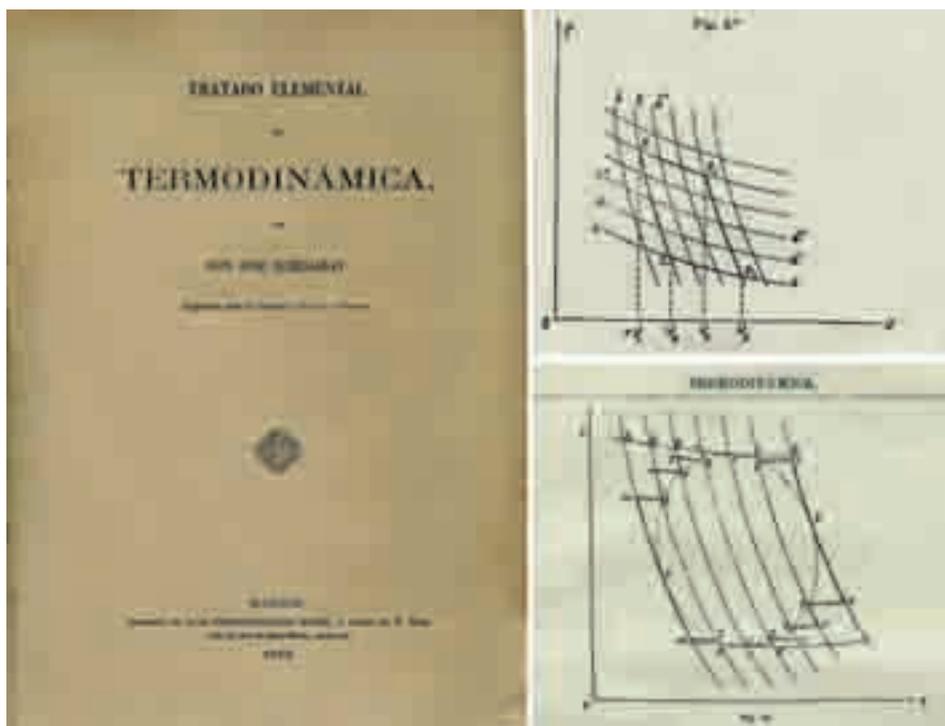
⁴³ En concreto, Echegaray se refería a un artículo publicado en *Comptes-Rendus* de la Academia de Ciencias francesa por el matemático Saint-Venant, que, al aplicar «la hipótesis ordinaria respecto a las fuerzas elásticas entre dos puntos, a saber: la de la proporcionalidad de aquella a las deformaciones, y la integral de los movimientos elementales en forma de seno o coseno, dan resultados, al aplicarlas a las vibraciones caloríficas, verdaderamente absurdos: aumento de temperatura sin aumento de volumen». *Ibíd.*, p. 83.

⁴⁴ J. ECHEGARAY, 1917, p. 289.

⁴⁵ J. ECHEGARAY, 1868, p. 13.

⁴⁶ He consultado la traducción al castellano: SAINT-ROBERT, 1882, p. 2.

No obstante, la posición de Echegaray era bastante diferente. Aunque al principio del libro no aseveraba la realidad de la naturaleza mecánica del calor, después de exponer en qué consistía el equivalente mecánico del calor describía esta ley (la rela-



13.1. José de Echegaray: Tratado elemental de Termodinámica, Madrid, 1868:

1) Usando diagramas presión-volumen define las «curvas térmicas de primera y de segunda clase», relativas a Q (adiabáticas) y relativas a t (isotermas), respectivamente. Apoyado en la fig. 8.a (p. 28), intenta demostrar el principio de la segunda ley de la termodinámica, basándose en los trabajos de William Thomson. Se representa una sustancia que realiza «un cuadrilátero» (ciclo): durante $(P_0 - P_1)$ sufre un aumento de presión, pero sin intercambio de calor (adiabático); $(P_1 - P_2)$ es una isoterma a temperatura t_1 (recibe calor); $(P_2 - P_3)$ representa una disminución de presión adiabática; y $(P_3 - P_0)$ es isoterma a temperatura $t_0 < t_1$ (cede calor). Para este tipo de ciclo se puede demostrar que entre las cantidades de calor que recibe (Q_1) y entrega (Q_0) el cuerpo, existe una relación que solo depende de las temperaturas de las dos isotermas: $\frac{Q_1}{Q_0} = F(t_0, t_1)$;

2) En la fig. 10 (p. 33), a partir de lo anterior, Echegaray demuestra que la forma de la función de la temperatura es «independiente del agente físico que se emplee», pudiéndose expresar como: $\frac{Q_1}{Q_0} = \frac{f(t_1)}{f(t_0)}$. Con el ciclo reversible de esta figura, Echegaray deduce el siguiente teorema: «Cuando

un cuerpo se pone en contacto con una serie de focos de calor a temperaturas diversas y de ellos recibe, o bien cede, cantidades de calor, si el cuerpo vuelve a su estado inicial, la suma de los cocientes que resultan de dividir cada cantidad de calor por una función constante, f , de la temperatura correspondiente, es igual a cero»: $\sum \frac{Q}{f(t)} = 0$.

ción constante entre calor y trabajo) como consecuencia de dos principios fundamentales y racionales: «la fuerza viva del universo es constante [y] el calor es una forma del movimiento; es el movimiento interno y molecular de la materia»⁴⁷.

Por lo anterior, puede decirse que este libro no era tan solo una obra didáctica destinada a enseñar el método para determinar el estado de equilibrio de un gas en las diferentes etapas de una máquina térmica y con ello predecir su capacidad de producir trabajo, sino también una definición personal de cómo Echegaray interpretaba la termodinámica: sus axiomas fundamentales *eran* dependientes de las hipótesis que explicaban la naturaleza del calor⁴⁸. En este sentido, su «libro de texto» era un apoyo, arropado matemáticamente, de su libro de divulgación de 1867; ambos se volvían inseparables. Cada uno se sustentaba en el otro y de forma conjunta construyeron un significado particular de la termodinámica y de la física matemática, y permitieron a su autor ser percibido en España como el representante legítimo de ellas. Como comentaba Echegaray en 1883, la termodinámica había conseguido ser una ciencia «de igual categoría y dignidad que la ciencia astronómica, que la Óptica o que la Acústica»⁴⁹, y, por lo tanto, era una fiel representante de la física matemática. A partir de esta definición epistemológica, la termodinámica adquiría la validez necesaria para ser utilizada como herramienta legitimadora de la física matemática y superaba para este fin, por la sencillez de su exposición —en la que se comprendían fácilmente los muy abstractos conceptos de conversión y conservación de los agentes naturales—, los ejemplos de la óptica y la acústica.

III

LA ENSEÑANZA DE LA TERMODINÁMICA

Los ingenieros Rojas, Vicuña y Echegaray abogaban por la creación de un espacio dentro de la enseñanza de la física en España que diera importancia a las teorías mecánicas en las que se basaba la explicación del mundo físico. Conocer la naturaleza del calor tenía que ser tan importante como el uso adecuado del termómetro. La base conceptual de estos ingenieros para poder describir y matematizar los fenóme-

⁴⁷ J. ECHEGARAY, 1868, p. 26.

⁴⁸ Es interesante ver cómo Peter M. Harman describe la posición que adoptó Clausius al respecto: «Cuando en 1850 Clausius estableció los fundamentos conceptuales de la termodinámica, advirtió que, si bien el principio de equivalencia del calor y el trabajo podía ser visto como conceptualmente inteligible si se suponía que el calor consistía en el movimiento de las partículas que constituían los cuerpos, él eludía considerar la naturaleza de los movimientos moleculares que daban lugar al fenómeno del calor y podían convertirse en trabajo mecánico. En vez de ello, formuló los axiomas de la termodinámica de manera independiente de las hipótesis acerca de la naturaleza de la materia». P. M. HARMAN, 1990, p. 156.

⁴⁹ J. ECHEGARAY, 1883, p. 89.

nos físicos se desprendía de un ejercicio especulativo en el que conceptos como los átomos o el éter eran fundamentales para articular las teorías mecánicas y a la vez eran presentados como entidades reales de la naturaleza.

En los libros de física de la época (segunda mitad del siglo XIX), que eran utilizados tanto en las universidades como en las escuelas especiales, la sección dedicada al calor hacía poca referencia a la naturaleza de este, y solo a modo de información. Lo importante de su estudio era la observación de las modificaciones que el calor ejercía sobre los cuerpos. En este sentido se estudiaba el uso del termómetro, la dilatación de los sólidos, los cambios de estado y la calorimetría; es decir, lo mismo que se venía estudiando desde inicios del siglo XIX. Libros como *Programa de un curso elemental de física*, de Venancio González y Juan Chávarri⁵⁰, se referían al calor como un fluido imponderable, y otros, como *Curso elemental de física experimental y aplicada*, de Bartolomé Feliú⁵¹, exponían las dos hipótesis sobre el calor —como fluido imponderable y como movimiento— haciendo notar que considerar el calor como movimiento vibratorio era la más aceptada por la mayoría de los sabios de aquel entonces. El contenido de las lecciones de estos libros de texto permitía que fuera indiferente en la práctica la forma de considerar la naturaleza del calor, ya que no se desprendía de ella ninguna modificación en el estudio de su contenido. Entre 1850 y 1870 la única diferencia al abordar la sección sobre el calor era la adición de un párrafo que reconocía a este agente como un tipo de movimiento vibratorio. Estos libros no tenían espacio para una explicación detallada de las hipótesis que sustentaban la comprensión de los fenómenos que describían: su labor culminaba justamente ahí, en la descripción de los efectos de los fenómenos. Los nuevos conocimientos y métodos que aportaba la ciencia de la termodinámica no formaban parte legítima de su contenido.

En el libro *Elementos de física experimental* (1882) del catedrático de Física de la Universidad de Cádiz Vicente Rubio y Díaz⁵² encontramos una posición interesante sobre la adopción de nuevas teorías, tales como la del calor. Al referirse a las dificultades de escribir un libro de física dedicado a la enseñanza, Rubio apuntaba:

Modernas teorías indican nuevo rumbo y preparan modificación radical: si se toman como base para la enseñanza, se rompe con el pasado, se produce una revolución (que ya se inicia pero que corresponde a otros de más vuelo) y se establece cierta solución de continuidad, pues quedan no pocos vacíos imposibles todavía de llenar. Si se

⁵⁰ V. GONZÁLEZ VALLEDOR y J. CHÁVARRI, 1851. Ambos eran catedráticos de Física de la Universidad Central de Madrid. Este libro fue catalogado como obligatorio en la enseñanza de la física en la universidad a partir de la Ley Moyano, en 1857. Al respecto, véase A. MORENO GONZÁLEZ, 1988, pp. 356-357.

⁵¹ B. FELIÚ, 1878. La primera edición es de 1870. Este libro fue utilizado como libro de texto en la asignatura de Ampliación de Física en las universidades de Madrid y Barcelona en la década de 1890. Véase al respecto A. MORENO GONZÁLEZ, 1988, pp. 504 y 510.

⁵² Este autor basaba el contenido de su texto en la experiencia que había adquirido como profesor de la cátedra de Ampliación de Física a lo largo de veintidós años en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz. V. RUBIO, 1882, p. v.

prosigue la corriente ordinaria de la mayor parte de las obras que hoy se dedican a la instrucción de la juventud, se la priva de los adelantos modernos, se estanca en cierto modo la ciencia, y se expone el autor a la censura de esos espíritus inquietos (ilustrados, pero idólatras incondicionales de todo lo nuevo) que quieren introducir en los libros, aunque sean de tan poco valer como el presente, las novedades y excursiones teóricas, no siempre ciertas, y difíciles de modelar a veces, en un curso claro, concreto, reducido, sencillo y ordenado; es decir, en un libro propiamente didáctico⁵³.

La solución que ofrecía Rubio a la hora de realizar la labor docente era adoptar un «término medio prudencial», es decir, presentar los modos de ver comunes e indicar cuando fuera posible las nuevas teorías. De este modo, presentaba un libro de texto muy similar a los que hemos mencionado anteriormente pero con algunas adiciones que dejaba al criterio de los profesores incluir o no en sus clases. Los apartados opcionales los diferenciaba mediante un asterisco en el índice de la obra. En la sección dedicada al calor, las nociones de la teoría mecánica del calor se presentaban como uno de estos apartados, y al final del libro se adicionaba un apéndice que hablaba sobre la unidad de las fuerzas físicas. En esta sección, de carácter opcional, y de forma muy resumida, se presentaban las teorías que Rojas había dado a conocer en la RACAB, es decir, se hablaba de la conversión de las diferentes fuerzas y de si estas fuerzas eran reales o eran una expresión de la materia y el movimiento. Entre las obras que recomendaba el autor para una mayor comprensión del tema se encontraban los textos de Echegaray⁵⁴.

A diferencia de Rubio, los ingenieros Rojas, Vicuña y Echegaray ejercían un papel muy activo en la enseñanza de las nuevas teorías. En sus cátedras trataban de inculcar en sus alumnos la importancia de las hipótesis mecánicas, y en especial la idea de la unidad de las fuerzas físicas articuladas a través de los conceptos de átomos y éter, al contrario de lo que ocurría en los libros de texto que hemos mencionado. Por ejemplo, en la cátedra de Física Industrial en la Escuela de Barcelona, Rojas impartió los cursos de Aplicaciones del Calor y Aplicaciones de la Luz y la Electricidad entre 1880 y 1886. En el primero se explicaba a los futuros ingenieros cuestiones como la dilatación de los cuerpos, la combustión, etc., y su contenido era de carácter muy práctico. No obstante, Rojas prestaba especial atención a exponer la naturaleza del calor, presentándola como el movimiento vibratorio de los átomos de la materia y cuyo medio de propagación era el éter, resaltando que el calor era un fenómeno completamente análogo al de la luz o el sonido⁵⁵. En este texto, Rojas demostraba que la fuerza viva era una forma de trabajo y, por lo tanto, se lograba que el calor fuera considerado como una expresión de la fuerza viva en la medida que se convertía en trabajo. Rojas

⁵³ *Ibíd.*, p. vi.

⁵⁴ Rubio mencionaba el texto de divulgación de Echegaray *Teorías modernas de la física*.

⁵⁵ El contenido del curso de Aplicaciones del Calor impartido por Rojas en la Escuela de Barcelona se conoce gracias a que uno de sus alumnos, A. Sandaran, publicó los apuntes de clase de esta materia en 1885. F. ROJAS, 1885.

recurría al famoso experimento de Joule para demostrar que una determinada cantidad de trabajo se convertía en calor y hacía hincapié en que el movimiento de los cuerpos no aumentaba o disminuía sin que esto afectara al movimiento de otro cuerpo, explicando así lo que en otros contextos se denominaba *conservación de la energía*. Así pues, Rojas no solo se dedicaba a una exposición de los fenómenos que ocurrían con el calor, sino que basaba la acción de este en una hipótesis mecánica, dando gran importancia a la exposición de esta y aportando las ecuaciones necesarias para su manejo matemático.

Del mismo modo, Rojas aprovechó las páginas de la revista *La Electricidad*, de la cual era fundador y director, para difundir sus hipótesis mecánicas⁵⁶. En ella aparecieron una serie de artículos que luego se reunirían en el libro *Tratado de electrodinámica industrial* (1890), en el que el autor exponía los nuevos adelantos de la ciencia del electromagnetismo. De nuevo, Rojas resaltaba la importancia del éter como elemento fundamental en la «física moderna» y explicaba la energía magnética apoyándose en la conversión de la energía mecánica o fuerza viva en calor y extendiéndola a las múltiples transformaciones de los diferentes tipos de energía. En este punto se preguntaba: «Y en último análisis, ¿qué es la transformación de una energía a otra? Pues sencillamente un cambio de movimiento. Y he aquí cómo todo fenómeno físico o químico queda reducido a un fenómeno mecánico»⁵⁷. De este modo, Rojas promovía la visión de un mundo físico comprensible y explicable solo mediante los conceptos de materia y movimiento, evitando dar al concepto de energía el estatus de realidad objetiva.

Al igual que Echegaray, Rojas había apostado por una concepción del mundo físico que no necesitaba recurrir al concepto de energía, sino que basaba su inteligibilidad en la materia y el movimiento, y esto lo aplicaba decididamente en la docencia. La enseñanza de esta teoría era para Rojas parte esencial en el plan de estudios de la física en general y del calor en particular.

De modo sugerente, el énfasis en que la termodinámica había surgido a partir de la hipótesis mecánica del calor se reflejaba a la hora de explicar los ciclos termodinámicos que permitían analizar de forma matemática el desempeño de las máquinas térmicas. Aunque el libro de Rojas sobre la historia de la termodinámica podría ser catalogado en primera instancia como una obra de divulgación científica, buena parte de su contenido estaba dedicado a explicar en detalle los principios fundamentales que permitían aplicar las leyes de la termodinámica al estudio de los fenómenos térmicos y en particular al análisis de las máquinas térmicas. Esto hace suponer que, en sus cursos sobre Aplicaciones del Calor, Rojas recurría a su texto como complemento para la enseñanza de esta materia.

⁵⁶ Fue director de la revista, la primera en España sobre este tema, durante los ocho años de vida que tuvo, entre 1882 y 1889.

⁵⁷ *La Electricidad*, año III, n.º 2, 1885, p. 19.

El texto explicaba de forma general las cuestiones necesarias para poder analizar matemáticamente un ciclo térmico. El estado termodinámico de los cuerpos, la definición de líneas adiabáticas e isotérmicas y la ley de los gases perfectos eran los elementos fundamentales para poder entender el ciclo de Carnot, tal como Émile Clapeyron (1799-1864) había representado en una gráfica presión-volumen en 1834⁵⁸. Tanto Rojas como Echegaray partían del análisis del estudio analítico que había realizado el físico alemán Rudolf Clausius sobre los ciclos reversibles y que había permitido generalizar el principio de Sadi Carnot (1796-1832). Este ingeniero francés había publicado en 1824 el texto *Réflexions sur la puissance motrice du feu*, donde exponía una teoría que servía para establecer la eficiencia máxima de las máquinas térmicas en general⁵⁹. El argumento principal que daba Carnot para que se pudiera generar trabajo a partir de una máquina térmica era la necesidad de un flujo de calor que pasara de una temperatura alta a una inferior. Dada una misma cantidad de calor, cuanto mayor fuera la diferencia de temperaturas, mayor sería la cantidad de trabajo producido. Para que las máquinas no fueran ilimitadamente eficientes, Carnot situaba como límite el que fijaba una máquina perfectamente reversible en la que la capacidad motriz producida por una cantidad de calor cayendo de una temperatura a otra era exactamente la misma que se necesitaba para elevar la misma cantidad de calor a su temperatura inicial. Una mayor producción de trabajo significaría sacarlo de la nada.

La supuesta conservación del calor en los procesos descritos por Carnot era el gran problema con el que los nuevos científicos de la termodinámica se debían enfrentar al considerar los experimentos de Joule, que parecían demostrar que el calor no se *conservaba* sino que se *transformaba*. Cuando el calor produce trabajo, ¿se comporta como agua en un molino o como carbón que se consume? La solución la aportó Rudolf Clausius en su memoria *Über die bewegende Kraft der Wärme* (1850), al hacer notar que lo esencial en el principio de Carnot era la necesidad que tenía el calor de pasar de una temperatura mayor a una menor en la producción de trabajo en un proceso cíclico, y no el hecho de que este se conservara.

El ciclo de Carnot, que aparecía en los textos de Rojas, Echegaray y Vicuña, era explicado verbalmente por el primero de la siguiente manera:

El cuerpo sale de su estado inicial a para recorrer una línea isotérmica a la temperatura constante T , y durante ella recibe una cantidad de calor Q . Después recorre una línea adiabática en la cual ni recibe ni cede calor alguno. Después recorre una línea isotérmica a la temperatura constante T' , inferior a T , y durante ella el cuerpo cede una cantidad de calor Q' . Después recorre una línea adiabática durante la cual ni recibe ni cede el cuerpo calor alguno, y vuelve al estado inicial a . La evolución es pues un ciclo⁶⁰.

⁵⁸ La versión gráfica del ciclo de Carnot elaborada por Clapeyron fue la fuente por la que físicos como William Thomson y Rudolf Clausius conocieron las ideas de Carnot y a partir de las cuales desarrollaron la ciencia de la termodinámica. Al respecto, véase P. M. HARMAN, 1990, cap. 3.

⁵⁹ S. CARNOT, 1824.

⁶⁰ F. ROJAS, 1876, p. 53.



13.2. Francisco de Paula Rojas: Termodinámica. Su historia, sus aplicaciones y su importancia, Barcelona, Luis Tasso, 1876: Junto con los textos de Echegaray (1868) y el de Gumerindo de Vicuña (1872) forma parte del trío fundamental en la introducción de la termodinámica en España. Con el ciclo en la figura (pág. 68), Rojas explica la generalización del principio de Carnot (segunda ley de la termodinámica) debida a Clausius. Se representa un ciclo reversible en el que se han señalado dos líneas adiabáticas infinitamente próximas (**a** y **b**). T es la temperatura absoluta del cuerpo que corresponde al trayecto **a**, y T' es la temperatura absoluta del cuerpo que corresponde al trayecto **b**. Si dQ es la cantidad infinitesimal de calor que recibe el cuerpo en el trayecto **a**, y dQ' es la cantidad infinitesimal de calor que el cuerpo cede en el trayecto **b**, Clausius demuestra que $\int \frac{dQ}{T} = 0$.

Tal como lo expresaba Rojas, por una feliz coincidencia, Carnot había logrado sentar un principio verdadero aunque pensara que Q era igual a Q' , esto es, que la cantidad de calor transportada durante el ciclo no disminuía. Esta diferencia de calor ($Q - Q'$) era equivalente al trabajo externo hecho por el cuerpo, y suponerla igual significaba admitir la creación de energía (en forma de trabajo) a partir de la nada. Rojas y Echegaray destacaban que la hipótesis mecánica del calor era un hecho científico que había permitido el desarrollo matemático del ciclo de Carnot.

BIBLIOGRAFÍA

- BERTOMEU SÁNCHEZ, José Ramón, *et al.* (eds.): «Textbooks in the scientific periphery», *Science & Education*, n.º especial, 15 (7-8) (2006), pp. 657-880.
- BERTRAND, Joseph-Louis: *Thermodynamique*, París, Gauthier-Villars, 1887.
- BEVILACQUA, Fabio: «Helmholtz's Über die Erhaltung der Kraft», en D. Cahan (ed.): *Hermann von Helmholtz and the foundations of nineteenth-century science*, Berkeley, University of California Press, 1993, pp. 291-333.
- CARNOT, Sadi: *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres à développer cette puissance*, París, Chez Bachelier, 1824.
- CLAUSIUS, Rudolf: «Über verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie», *Annalen der Physik und Chemie*, 125 (1865), pp. 353-400.
- DAELE, Wolfgang van der, y Wolfgang KROHN: «Science in a crisis of legitimation», en W. Schäfer (ed.): *Finalization in science: the social orientation of scientific progress*, Dordrecht, D. Reidel, 1983.
- Diccionario enciclopédico hispano-americano de literatura, ciencias y artes*, Barcelona, Montaner y Simón, 1897, t. xx.
- ECHEGARAY, José: «Sobre la reforma de la Facultad de Ciencias y de las Escuelas Especiales», *Revista de Obras Públicas*, t. xiv (1866), pp. 261-265.
- *Tratado elemental de termodinámica*, Madrid, Imprenta de los Conocimientos Útiles, 1868.
- *Teorías modernas de la física: unidad de las fuerzas materiales*, Madrid, Imprenta y Estereotipia de M. Rivadeneyra, 1873.
- «Contestación al discurso “Relaciones principales entre las teorías matemáticas de la física” de Gumersindo Vicuña», en *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Imprenta de la Viuda e Hijo de D. Eusebio Aguado, 1883.
- «Contestación al discurso “Algunas reflexiones sobre la unidad de las fuerzas físicas” de Francisco de Paula Rojas», en *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Imprenta de Luis Aguado, 1894.
- «Discurso leído en la Universidad Central en la solemne inauguración del curso académico de 1905 a 1906. La ciencia y la crítica», 1905, reprod. en J. Sánchez Ron, 1990a, pp. 275-346.
- *Recuerdos*, Madrid, s. n., 1917.
- FELIÚ, Bartolomé: *Curso elemental de física experimental y aplicada*, Madrid, Imprenta de la Viuda e Hijo de D. Eusebio Aguado, 1878, 4.ª ed.
- FOX, Robert: *The caloric theory of gases: from Lavoisier to Regnault*, Londres, Oxford UP, 1971.
- GARRABOU, Ramon: *Engyners industrials, modernització econòmica i burgesia a Catalunya (1850 – inicis del segle xx)*, Barcelona, L'Avenç, 1982.

- GOLINSKI, Jan: *Science as public culture: chemistry and enlightenment in Britain, 1760-1820*, Cambridge UP, 1992.
- GONZÁLEZ VALLEDOR, Venancio, y Juan CHÁVARRI: *Programa de un curso elemental de física y nociones de química*, Madrid, Imprenta del Colegio de Sordomudos y de Ciegos, 1851, 2.ª ed.
- HARMAN, P. M.: *Energía, fuerza y materia. El desarrollo conceptual de la física del siglo XIX*, Madrid, Alianza, 1990.
- HEILBRON, John: *Weighing imponderables and other quantitative science around 1800*, Berkeley, University of California Press, 1993.
- KUHN, Thomas: *La estructura de las revoluciones científicas*, México, FCE, 1971.
- LOZANO Y PONCE DE LEÓN, Eduardo: *Elementos de termodinámica*, Barcelona, J. Roma, 1899.
- LUSA, Guillermo: «Alarma en Barcelona: el traslado a Madrid de la Escuela de Ingenieros Industriales (1881)», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. 2 (1997), pp. 119-190.
- «La Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. v: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007, cap. 6, pp. 351-394.
- MORENO GONZÁLEZ, Antonio: *Una ciencia en cuarentena. Sobre la física en la universidad y otras instituciones académicas desde la Ilustración hasta la crisis finisecular del XIX*, Madrid, CSIC, 1988.
- MOYA CÁRCCEL, Teodoro: *La enseñanza de las ciencias: los orígenes de las facultades de ciencias en la universidad española*, tesis doctoral, Universidad de Valencia, 1992.
- NYE, Mary Jo: *From chemical philosophy to theoretical chemistry: dynamics of matter and dynamics of disciplines, 1800-1950*, Berkeley, University of California Press, 1993.
- PESET, José Luis, et al.: *Ciencias y enseñanza en la revolución burguesa*, Madrid, Siglo XXI, 1978.
- POHL, Stefan: *La «circulación» de la energía. Una historia cultural de la termodinámica en la España de la segunda mitad del siglo XIX*, tesis doctoral, Universidad Autónoma de Barcelona, 2007.
- ROJAS, Francisco: *Termodinámica: su historia, sus aplicaciones y su importancia*, Barcelona, Establecimiento Tipográfico de Luis Tasso, 1876.
- *El problema físico y el problema químico se resolverán en el mecánico. Memoria presentada ante la Real Academia de Ciencias de Barcelona*, 1877, ms., RACAB, 82.2 (CF. 28).
- *Aplicaciones del calor: lecciones explicadas en la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona*, Barcelona, Tip. La Academia de Evaristo Ullastres, 1885.
- «Algunas reflexiones sobre la unidad de las fuerzas físicas», en *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Imprenta de Luis Aguado, 1894, pp. 1-24.

- RUBIO Y DÍAZ, Vicente: *Elementos de física experimental*, Cádiz, Imprenta de la Revista Médica, 1882.
- SAINT-ROBERT, Paul: *Principios de termodinámica*, Madrid, Imprenta de Pedro Abienzo, 1882.
- SÁNCHEZ RON, José Manuel: *José Echegaray: matemático y físico-matemático*, Madrid, Biblioteca de la Ciencia Española, 1990a.
- «La física matemática en España: de Echegaray a Rey Pastor», *Arbor*, 135 (532) (1990b), pp. 9-59.
- «Las ciencias físico-matemáticas en la España del siglo XIX», en J. M.^a López Piñero (ed.): *La ciencia en la España del siglo XIX*, Madrid, Ayer, 1992, pp. 51-84.
- SMITH, Crosbie: *The science of energy: a cultural history of energy physics in Victorian Britain*, The University of Chicago Press, 1998.
- VICUÑA, Gumersindo: *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y gas con arreglo a la termodinámica*, Madrid, Manuel Tello, 1872.
- «Concepto y clasificación de las ciencias físico-matemáticas», *Revista de la Universidad de Madrid*, 2.^a ép., II (1873), pp. 125-146.
- *Discurso leído en la Universidad Central en el acto de la apertura del curso académico de 1875 a 1876*, Madrid, Imprenta de José M. Ducazcal, 1875.
- «Relaciones principales entre las teorías matemáticas de la física», en *Discursos leídos ante la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, Madrid, Imprenta de la Viuda e Hijo de D. Eusebio Aguado, 1883.

La introducción de la técnica eléctrica

Joan Carles Alayo i Manubens
Universitat Politècnica de Catalunya

Jesús Sánchez Miñana
Universidad Politécnica de Madrid

En el siglo XIX, mientras las consecuencias prácticas de la cada vez más desarrollada ciencia eléctrica parecían interesar poco a sus cultivadores, numerosas personas en Europa y en los Estados Unidos estaban atentas a los avances en la comprensión de los fenómenos eléctricos y, basándose en ellos, desarrollaban dispositivos y aparatos aplicables a diversos usos. Fueron inventores, de procedencia e intereses muy variados, que acabaron conociéndose como *electricians*, *électriciens*, *electricistas*..., y a menudo suplantaron involuntariamente a los científicos ante el público. Entre ellos se contarían también profesionales con formación específica en electricidad, en España primero el personal telegráfico y, en las últimas décadas, ingenieros industriales, de minas y de caminos, y algunos militares. Todos ellos contribuyeron a implantar una técnica eléctrica cuyas manifestaciones hoy seguimos utilizando.

Quando en 1891 el telegrafista Antonino Suárez Saavedra concurrió al premio de la Real Academia de Ciencias de Madrid a la mejor memoria sobre «Historia crítica de los estudios realizados en España sobre la electricidad y sus aplicaciones a la telegrafía», Echegaray emitió un informe desfavorable sobre su escrito. Alegó, entre otras razones, que de los trabajos que reseña solo los de Francesc Salvà i Campillo son «verdaderamente científicos, dignos de consideración», y que, por tanto, no ha respondido a la primera parte del lema de la convocatoria, «a no ser —añade— que se considere que el Sr. Salvà es el único que ha estudiado científicamente esta materia [la electricidad] desde el pasado siglo»¹. Sin embargo, en contra de lo que Echegaray parecía creer, para entonces España no había contribuido significativamente al avance de la ciencia eléctrica, ni lo haría en el resto de la centuria, y ya en torno a 1800 Salvà realmente había sido, con aportaciones como la aplicación de la recién inventada pila de Volta a la telegrafía, nuestro primer electricista.

A Salvà siguieron algunos otros inventores cuyas contribuciones son todavía poco conocidas y valoradas, y sobre todo bastantes personas que destacaron en el

¹ Una copia de la memoria y el informe se encuentra en el Museo Postal y Telegráfico, Madrid.

empeño de demostrar e introducir rápidamente en el país las novedades que aparecían fuera de nuestras fronteras. De su obra se trata brevemente en las páginas que siguen, respetando en lo posible el orden cronológico de las diversas aplicaciones más importantes del período: electroterapia, galvanoplastia, luz, fuerza motriz..., y con referencia a los avances en generación y transporte que hicieron posible su difusión. El trabajo se ocupa también de los comienzos de la *electrificación*, el proceso de generalización del uso de la electricidad que se inició en la última década del siglo y continuó su desarrollo en el siguiente. Por indicación del editor quedan fuera del estudio, para ser objeto de tratamiento posterior, los primeros sistemas de telecomunicación y el incipiente control eléctrico, lo que en el viejo sistema de patentes inglés se llamó «transmitir y recibir señales y controlar la acción mecánica».

En aras de la brevedad, el relato se ocupa más de los hitos o momentos significativos en la introducción de las sucesivas técnicas o aplicaciones que de los detalles de la difusión consiguiente. Por otra parte, conviene señalar que ni siquiera ese inventario de *primeras piedras* puede considerarse completo. Los autores han constatado la falta de trabajos generales en España sobre esta temática, y han utilizado los pocos estudios parciales existentes y, principalmente, las fuentes primarias a su alcance. Todo ello ha quedado reflejado en las notas, aun a riesgo de incrementar excesivamente su número, esperando que faciliten las necesarias investigaciones futuras.

I

LAS PRIMERAS APLICACIONES: ELECTROTERAPIA, GALVANOPLASTIA Y VOLADURAS

A diferencia de las máquinas electrostáticas hasta entonces utilizadas, de descarga instantánea, la pila inventada por Volta en 1800 proporcionaba por primera vez un flujo sostenido de carga, una corriente continua que se llamó *voltaica* o, más frecuentemente, *galvánica*. Con ella iban a realizarse nuevos experimentos, que darían pie a los grandes avances del siglo en el conocimiento de la física del electromagnetismo y al desarrollo de muchas aplicaciones plenamente vigentes en el mundo actual.

En primer lugar la pila se llevó al cuerpo humano. Eran bien patentes las *commo-ciones* producidas por las descargas eléctricas y se había intentado su empleo terapéutico, de modo que no puede extrañar que se ensayara enseguida la *galvanización*, palabra que todavía hoy designa la aplicación de corrientes continuas con fines médicos. La propia invención de la pila y la inmediata observación de que producía la descomposición del agua en sus dos elementos constituyentes marcaron el inicio de la electroquímica, uno de cuyos primeros frutos fue la galvanoplastia, una nueva técnica para recubrir con metales la superficie de los cuerpos. Los militares vieron pronto también que en el calentamiento de los conductores al paso de la corriente de la pila podían basar un medio sencillo y discreto de hacer explotar a distancia las cargas de pólvora.

En 1802 Pedro Gutiérrez Bueno, catedrático de Química del Real Colegio de San Carlos de Madrid, ya había instruido a un latonero de la ciudad en la construcción de pilas², y al año siguiente las describió extensamente, así como su uso para descomponer el agua en hidrógeno y oxígeno y tratar «las enfermedades de los ojos, sorderas y parálisis», en el librito *Observaciones sobre el galvanismo*, que publicó como complemento a sus enseñanzas.

En 1832 Hippolyte Pixii construyó en París el primer generador eléctrico rotatorio, al que siguieron en poco tiempo otros parecidos, obra de diversos inventores. Así como las pilas transformaban energía química en eléctrica, estos pequeños aparatos, precursores de los actuales dinamos y alternadores, y basados en el fenómeno de la inducción electromagnética recién descubierto por Michael Faraday, convertían en eléctrica la energía mecánica aportada para hacerlos girar. Otra diferencia con las pilas es que producían corriente alterna, es decir, cambiante alternativamente de dirección a un ritmo determinado por la velocidad de rotación del eje, si bien ello podía evitarse con la incorporación de algún dispositivo conmutador. Desde el principio estuvieron en los gabinetes de física, y muy pronto fueron también utilizados para la aplicación a los pacientes de corrientes alternas, un tratamiento que aún se sigue llamando *faradización*.

Se sabe que en 1835 la cátedra de Física Experimental de Pere Vieta i Gibert, mantenida por la Junta de Comercio de Barcelona, disponía de uno de estos aparatos³, pero hay que avanzar hasta 1853 para encontrar noticia de un gabinete de faradización en Madrid⁴. De hecho, en los años cincuenta y sesenta del siglo XIX se documentan constructores españoles de instrumentos eléctricos, que ofrecen también los *electro-médicos*. Es el caso en Barcelona de Ramon Rosselló i Maspons, enseguida asociado con el óptico Francesc Dalmau i Faura⁵, o en Valencia de Francisco Rosa Carim y su hijo Federico⁶. Un exoficial de Rosselló, llamado Roque Llovet, vendería en 1859 a la Junta de Sanidad de Tarragona, para su uso en la reanimación de asfixiados, un aparato *Breton* salido de su taller⁷.

Ya en 1849, en un folleto impreso en Madrid y titulado *Reflexiones sobre el fluido eléctrico*, un médico llamado Antonio Suárez había dejado un verdadero alegato en favor del conocimiento y utilización de la electricidad por sus colegas, y todo parece

² *Gaceta de Madrid*, 30-XI-1802, p. 1.204.

³ En la reseña de los exámenes públicos del curso 1834-1835 se lee: «Entre los experimentos más sorprendentes que hizo [un alumno llamado Josef Mercer], fue el producir fenómenos eléctricos por medio de la rotación continua de un imán, produjo la conmoción eléctrica, la chispa, descompuso el agua, etc., todo por medio del magnetismo» (*Diario de Barcelona*, 29-VII-1835, pp. 1.673-1.674).

⁴ *Gaceta de Madrid*, 11-V-1853, p. 4.

⁵ J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2006a, pp. 115-195.

⁶ J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2006b, pp. 563-577.

⁷ *Diario de Barcelona*, 28-X-1859, p. 10.955, y J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2006a.

indicar que entre ellos hubo un creciente interés, aunque Eduardo Bertrán Rubio, que escribió sobre este tema a comienzos de los setenta, no viera un pasado demasiado brillante:

La electroterapia es una ciencia de ayer, que por circunstancias que sería prolijo examinar aquí, nació fuera de España, y fuera de España se ha cultivado, razón por la cual nos han ido llegando paulatinamente los ecos de sus progresos⁸.

Mientras no se conozca mejor la labor de sus predecesores, que los tuvo, hay que considerar tentativamente a este doctor Bertrán como la figura señera en el campo, aunque solo sea por el volumen de su obra escrita. En el libro *Electroterapia: métodos y procedimientos de electrización* (Barcelona, 1872) dejó reseñados todos los aparatos utilizados hasta entonces y entre ellos uno de su propia cosecha, un «aparato voltaico de corriente continua».

Moritz Jacobi, Thomas Spencer y Auguste de la Rive entre 1838 y 1840 fueron los primeros en observar la progresiva deposición de metal sobre el electrodo negativo de los conectados a una pila, al introducirlos en una disolución de algún compuesto de dicho metal. Con sus experiencias nació la galvanoplastia, una técnica que, entre otras cosas, superaba los procedimientos existentes para dorar o platear, y permitía la exacta reproducción de objetos a partir de un molde del original, haciendo asequibles artículos con la misma apariencia de los de muy alto precio.

Josep Roura i Estrada, catedrático de Química Aplicada a las Artes de la Junta de Comercio de Barcelona, pudo muy bien ser el introductor en España de estos cono-



14.1. Aparato médico de aplicaciones eléctricas: Servía para dar corrientes farádicas y galvánicas. Era utilizado para enfermedades de tipo nervioso, parálisis, atrofas musculares, etc. Fue fabricado por PRIETO, constructor de aparatos electro-medicinales e industriales, Barcelona. (*Museu de la Ciència i la Tècnica de Catalunya*).

⁸ Ojeada sobre la historia y aplicaciones de la electricidad médica, 2.^a ed., Madrid, 1872.



14.2. Cubierta del libro Manipulaciones electrotípicas o tratado de galvanoplastia (1844): Traducción de la segunda edición de la versión francesa, a su vez correspondiente a la décima inglesa, original de Charles V. Walker. Los traductores, Alberich y Domenèch, la dedicaron a Pere Vieta y Josep Roura, sus profesores de la Junta de Comercio de Cataluña (Biblioteca de Catalunya).

cimientos⁹. En los exámenes finales públicos de la asignatura, correspondientes al curso 1841-1842, uno de los alumnos, Francesc Domènech i Maranges, indicó la aplicación de la pila «para los experimentos galvano-plásticos», y otro, Josep Alberich i Casas, llevó a cabo una demostración de ellos, prevista en los términos siguientes:

hablando de la acción de los metales sobre sus disoluciones en el agua, manifestará el aparato y proceder galvano-plástico para la obtención de medallas de cobre en relieve y bajo relieve mediante la descomposición de una sal cobriz; indicando también el nuevo proceder para dorar objetos de plata, sin intervención del mercurio (azogue) y del fuego [...].

En 1844 Domènech y Alberich publicaron en Barcelona *Manipulaciones electrotípicas o tratado de galvanoplastia*, su traducción de un libro inglés de éxito, advirtiendo en una nota que el primero, farmacéutico, podía encargarse en su botica «de la construcción de los aparatos y preparación de las sustancias empleadas».

⁹ Para todo lo relativo a Barcelona en este apartado, véase J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2006a.

La nueva técnica debió de difundirse con cierta rapidez. En 1845 se vendían en Madrid pilas *Daniell* para este fin¹⁰, y a la Exposición de la Industria Española un joyero de la misma ciudad llevó una figura y cubiertos, todo dorado mediante lo que el catálogo llamó «electro-galvanismo» y «método eléctrico»¹¹. Este tipo de artículos figuraron también en dos exposiciones celebradas en 1850: la del Instituto Industrial de Cataluña, en Barcelona, y una nueva edición de la de la Industria Española, en Madrid. Aquí un expositor de La Coruña presentó «muestras de botones dorados al galvanismo»¹².

El descubrimiento por Faraday de la inducción electromagnética llevó, como se ha dicho, a la realización de los primeros generadores rotatorios. También a concebir otro tipo de máquina, estática, materializada a partir de 1851 en su taller de París por el hábil constructor Heinrich Daniel Ruhmkorff. Esta transformaba la baja y continua tensión de la pila que lo alimentaba en otra alta y alterna, capaz de hacer saltar largas chispas. Tomando una parte por el todo del aparato, se le llamó «bobina de inducción» o, a menudo entre nosotros, «carrete de Ruhmkorff», y fue un instrumento habitual en los gabinetes de física, también muy utilizado para la faradización, y, sobre todo, una gran herramienta de investigación, que en 1889 permitiría a Heinrich Hertz comprobar la existencia de las ondas electromagnéticas. Tempranamente, y por obra de un ingeniero militar llamado Gregorio Verdú Verdú, se aplicó también con gran éxito a las voladuras.

Las primeras experiencias del Ejército con la electricidad fueron seguramente las del Cuerpo de Ingenieros para la voladura de minas. Tuvieron lugar en Guadalajara en los últimos meses de 1845, dentro de los ejercicios anuales denominados *escuela práctica*, y estuvieron a cargo del entonces capitán Verdú, quien utilizó una pila *Wollaston* construida al efecto y alambres de cobre que la ponían en comunicación con un cebo o detonador formado por un filamento metálico que alcanzaba al paso de la corriente una temperatura suficiente para provocar la explosión de la pólvora¹³.

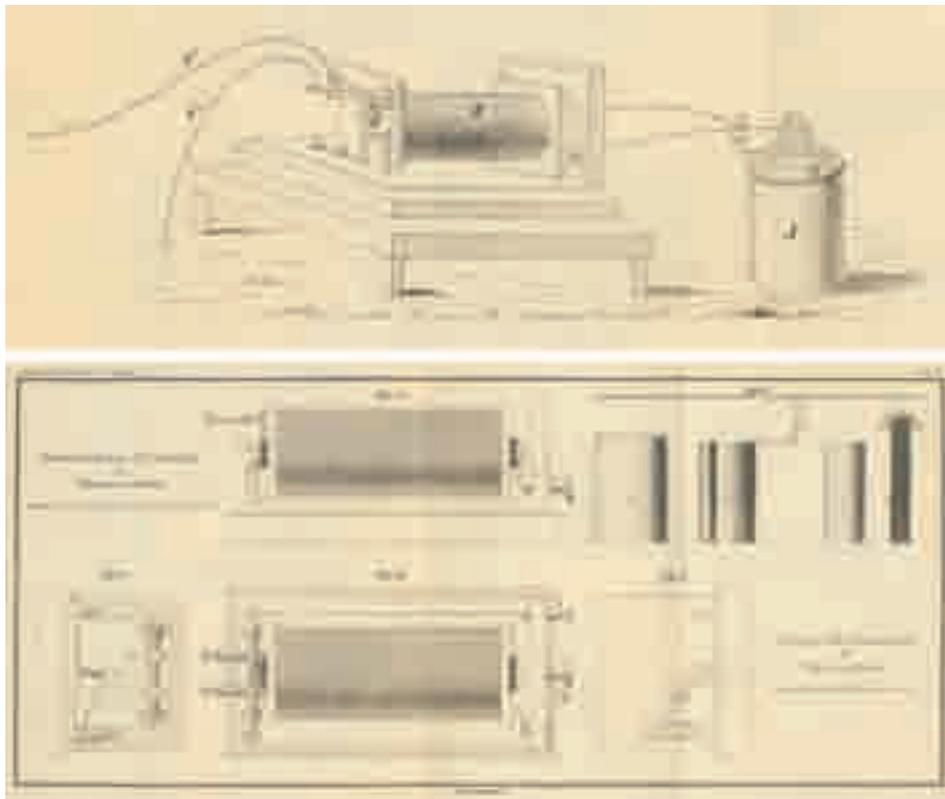
Los ensayos continuaron en años sucesivos, pero las grandes pilas necesarias, formadas por muchos elementos de difícil transporte, se avenían mal con las operaciones militares, y el 11 de abril de 1853, Verdú, que se encontraba comisionado en París ampliando estudios, presentó a la Académie des Sciences una memoria dando

¹⁰ *Gaceta de Madrid*, 30-VIII-1845, p. 4.

¹¹ «Suplemento al catálogo de los productos de la industria española, por el orden que han llegado para la Exposición Pública de este año 1845 [...] Madrid [...] 1845», p. 13.

¹² «Catálogo de los productos de la industria española, por el orden que han llegado para la Exposición Pública de este año de 1850 [...] Madrid [...] 1850», p. 19.

¹³ «Memoria sobre los medios de emplear la electricidad en la inflamación de los hornillos de mina, por el comandante Don Gregorio Verdú, capitán del Cuerpo de Ingenieros y profesor de su Academia. Madrid [...] 1846», *Memorial de Ingenieros*, tomo 1, 1846.



14.3. Bobina de inducción o «carrete de Ruhmkorff»: G. VERDÚ, *Nuevas minas de guerra...*, Madrid, 1854 (v. nota 15), detalle de la lámina 3 (arriba), y lámina 4. Es seguramente la más antigua representación del aparato publicada en España. La lámina 4 incluye también el despiece de la pila de Bunsen utilizada (de izquierda a derecha: vaso exterior, electrodo positivo de zinc, vaso cerámico poroso y electrodo negativo de carbón).

cuenta de sus ensayos para inflamar la pólvora, realizados en una fábrica de alambre eléctrico de la ciudad, utilizando el mucho más compacto y portátil aparato de Ruhmkorff. El cebo estaba formado por dos trozos de hilo de cobre, dispuestos de modo que entre ellos saltara la chispa. Con las longitudes de alambre disponibles se llegó a producir la explosión a distancias simuladas de hasta 26 km¹⁴.

Verdú, que amplió después sus ensayos a la utilización de fulminato de mercurio en los cebos, recogió todo lo hecho en un libro que dedicó al ingeniero general, Zarco del Valle, en 1854, y cuya versión francesa se publicó en París y Bruselas al año siguiente, después de circular manuscrita —según advertencia del traductor— entre

¹⁴ *Comptes rendus hebdomadaires des séances de l'Académie des Sciences*, t. 36, pp. 649-652.

los oficiales que dirigían los trabajos prácticos en las escuelas regiminales de ingenieros¹⁵.

El nuevo procedimiento se experimentó, ya en diciembre del mismo 1853, en Guadalajara, en la *escuela* de aquel año¹⁶, y continuó utilizándose posteriormente. El 1 de septiembre de 1854, Théodore du Moncel, la gran autoridad francesa en materia de electricidad, lo aplicó al desmonte de rocas en el puerto de Cherburgo¹⁷.

II

ARCO VOLTAICO: EL ASOMBRO DE LA LUZ ELÉCTRICA

Humphry Davy realizó en 1813 la primera demostración de luz eléctrica ante la Royal Society of London con una batería de dos mil elementos de pila de Volta que poseía la institución, pero tendrían que transcurrir varias décadas hasta que el perfeccionamiento de las pilas, las mejoras en el material de los electrodos de carbón entre los que saltaba el arco, y la invención de reguladores (aparatos para mantener automáticamente la distancia entre los carbones, que iban consumiéndose en la operación), hicieran posible que la luz fuera razonablemente estable y duradera. En 1844 Léon Foucault llevó el arco voltaico a la plaza de la Concorde, en París, corrigiendo todavía manualmente la separación de los electrodos, pero a finales de la década eran ya una realidad los reguladores de, entre otros, el inglés William Stait y el propio Foucault, cuyo aparato, perfeccionado por el óptico Jules Duboscq, se utilizó en abril de 1849 en las representaciones del *Prophète* de Giacomo Meyerbeer en la Ópera de París.

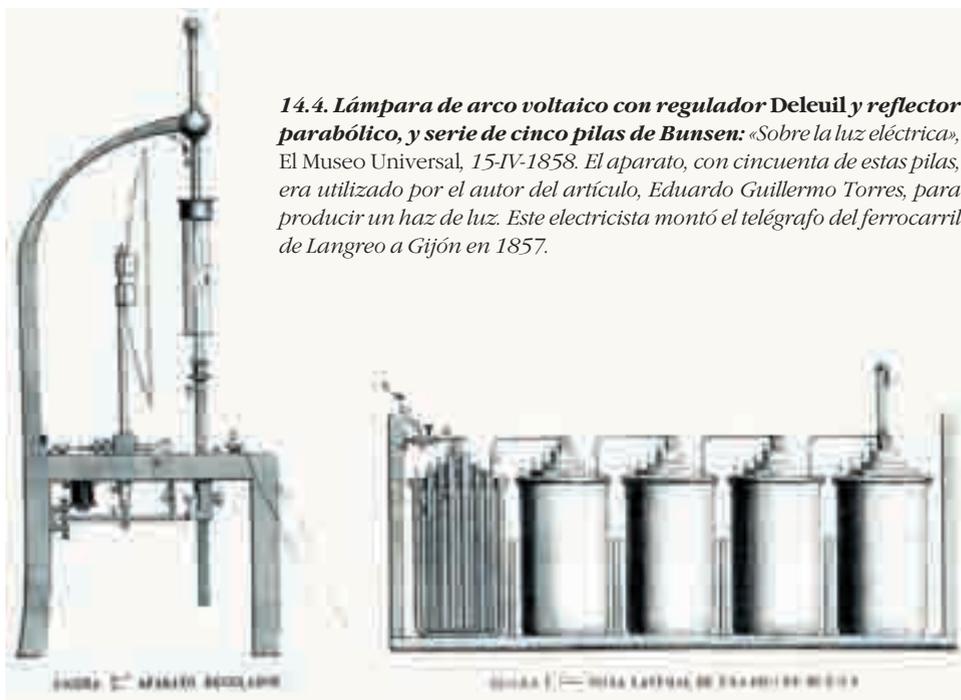
El farmacéutico Antonio Casares Rodrigo parece haber sido el pionero en España de la nueva luz, con su ensayo del 2 de abril de 1851 en el patio de la Universidad de Santiago de Compostela, de la que era profesor. Se valió de una pila formada por 50 elementos *Bunsen* y no se sabe si utilizó algún regulador¹⁸. Le siguió el 24 de agosto su colega de Madrid José Simón Castañer, que empleó 60 elementos en su botica, viéndose «enteramente obstruida la calle [del Caballero de Gracia] por multi-

¹⁵ *Nuevas minas de guerra y su aplicación a la defensa / como consecuencia de un reciente descubrimiento para emplear la electricidad en la voladura de los hornillos / por el coronel Don Gregorio Verdú / comandante del Cuerpo de Ingenieros*, Madrid, Aguado, Impresor de Cámara de S. M. y de su real casa. 1854. *Nouvelles mines de guerre appliquées à la défense, suivant un Nouveau procédé pour mettre le feu aux fourneaux de poudre à l'aide de l'électricité; par le Colonel espagnol Don Gregorio Verdú, Commandant du Corps du Génie*. Traduit de l'espagnol, Paris, Librairie militaire, J. Dumaine, Libraire-Éditeur de l'Empereur, Rue et passage Dauphine, 30. Bruxelles, Librairie militaire de Fl. Leroy, 13, rue de la Madeleine. 1855.

¹⁶ «Escuela de Ingenieros», *Revista Española de Ambos Mundos*, t. 1, Madrid, 1853, p. 391.

¹⁷ «Aplicación de la electricidad al desmonte de las rocas», *Revista de Obras Públicas*, 1855, t. 1, p. 202.

¹⁸ *El Restaurador Farmacéutico*, 30-IV-1851, p. 47, que cita al *Eco de Galicia* del 6 del mismo mes.



14.4. Lámpara de arco voltaico con regulador Deleuil y reflector parabólico, y serie de cinco pilas de Bunsen: «Sobre la luz eléctrica», El Museo Universal, 15-IV-1858. El aparato, con cincuenta de estas pilas, era utilizado por el autor del artículo, Eduardo Guillermo Torres, para producir un haz de luz. Este electricista montó el telégrafo del ferrocarril de Langreo a Gijón en 1857.

tud de espectadores de todas clases, y la casa y oficina del doctor Simón llena de cate-dráticos y profesores, que admirados de la magnificencia de la prueba y ansiosos de comprender la razón del fenómeno, examinaban la disposición y el mecanismo del aparato»¹⁹.

Roura, delegado regio en la Exposición Universal de Londres, abierta el primero de mayo de aquel año, debió de observar allí los progresos de la luz eléctrica y adquirió un aparato sencillo que permitía aproximar manualmente los carbones, con el que el 15 de noviembre hizo pruebas privadas en su cátedra, al parecer poco satisfactorias, pues la batería de 24 pilas *Wollaston* empleada resultó «insuficiente»²⁰. Antes de terminar el año, el 11 de diciembre, otro asistente barcelonés a la Exposición, el pintor Josep Arrau i Barba, leyó en una junta de la Real Academia de Ciencias y Artes de la ciudad una memoria sobre algunas novedades que había visto en la casa de campo denominada *Symposium*, entre ellas la luz eléctrica que iluminaba sus jardines, dando pie a un interesante debate entre los socios²¹.

¹⁹ *Biblioteca Médico-castrense Española*, t. II, julio y agosto de 1851, pp. 325-326.

²⁰ Salvo otra indicación, para lo relativo a Barcelona en este apartado, véase J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2006a.

²¹ Según el propio Arrau, el *Symposium* estaba en Kensington, frente al Crystal Palace, sede de la Exposición, y servía para recreo y descanso de los que salían de visitarla. Reseñas idénticas de

Fue al año siguiente, 1852, cuando, tras estas experiencias más o menos restringidas, la nueva luz pudo ser vista por un público numeroso. En Madrid, el 18 de febrero, con motivo de los festejos para celebrar la salida de la reina a la iglesia de Atocha tras el alumbramiento de la princesa de Asturias, además de luminarias convencionales se dispusieron dos arcos voltaicos: uno se colocó sobre el pórtico del Congreso de los Diputados y el otro se alojó en una gran farola en la plaza de la Armería del Palacio Real²². Se sabe que de la instalación del segundo se ocupó otro farmacéutico de la capital, ligado a la casa real, el catedrático de Química de la Universidad, Ramón Torres-Muñoz y Luna²³. El regulador en este caso era obligado, y seguramente fue el comprado en París para el rey consorte Francisco de Asís por orden de 20 de noviembre de 1851²⁴. Así describía *La Época* el espectáculo a las puertas del Congreso, un texto que parece indicar que el arco iba acompañado de un reflector, formando un proyector dirigible a voluntad:

El efecto de esta luz [eléctrica], completamente nuevo para Madrid, es lo más bello y sorprendente. Espárcese como la luna, a impulso de la mano del hombre, y anoche ya se destacaba sobre el arco de triunfo, ya sobre la modesta iglesia de San Antonio, o invadía la Carrera de San Gerónimo, o se proyectaba en los lejanos árboles del Prado. Más clara y plateada que la luna; pero no menos misteriosa y poética, la luz eléctrica dibujó las perspectivas más bellas. El pueblo aplaudía lo que apenas acertaba a comprender. Allí en la plaza de Cervantes se veían repartidas tres edades: el alumbrado opaco y tibio del aceite, estaba eclipsado por el gas, y la luz eléctrica parecía querer ya arrojar a este de un sitio que ella ocupará algún día.

También volvieron las exhibiciones a las otras dos ciudades pioneras. Casares iluminó la plaza del Hospital de Santiago con ocasión de unas fiestas²⁵, y Roura repitió con éxito sus ensayos en la Junta de Comercio de Barcelona, ante colegas y empleados, utilizando una nueva pila de 25 elementos *Bunsen*; si bien el mayor protagonismo en esta ciudad correspondió a un comerciante llamado Cristóbal Renaud y, sobre todo, al citado Domènech, quien, ya con botica abierta en la calle de la Unió, hizo funcionar en ella sus aparatos, y después los llevó a un popular baile al aire libre y a una junta pública de la Academia de Ciencias. Aquí, dentro de su cátedra de Química, dio después seis lecciones sobre alumbrado eléctrico.

Aunque a quienes, como Domènech, veían en la luz eléctrica una oportunidad de negocio les costara reconocerlo, su gran limitación estaba en las pilas, voluminosas, de manejo difícil por los ácidos que portaban, y que, agotadas tras un tiempo de

su memoria se publicaron al menos en dos revistas de Madrid, *El Restaurador Farmacéutico*, 10-I-1852, p. 4, y *La Ilustración*, 28-II-1852, p. 83.

²² Véanse, por ejemplo, los periódicos de Madrid *La Nación*, *El Heraldo* y *La Época* de 19-II-1852.

²³ *El Restaurador Farmacéutico*, 29-II-1852, pp. 31-32.

²⁴ Archivo de Palacio, Asuntos Generales, leg. 1, exp. 101.

²⁵ *Diario de Barcelona*, 14-VIII-1852, pp. 4.819-4.820, que cita al periódico *El Coruñés*, sin fecha.



14.5. Farola de arco voltaico en la plaza de la Armería del Palacio Real de Madrid: La Ilustración, 21-II-1852. Es probable que las pilas se alojaran en el interior de la plataforma sobre la que descansaba. «Rivales del esplendor del sol», llamó El Heraldo del 19-II-1852 a esta luz y a la colocada en la misma ocasión festiva en el pórtico del Congreso.

funcionamiento siempre breve, debían rellenarse, no sin antes haberlas limpiado cuidadosamente. Ya en 1852, Roura, polemizando con Domènech en las páginas del *Diario de Barcelona*, lo tenía muy claro:

[...] esta luz es excesivamente costosa, ni en Inglaterra ni en Francia ha podido entrar en competencia con el hidrógeno carbonado; pero puede con el tiempo inventarse un aparato de inducción en que los simples imanes suplan a la costosa pila de Bunsen²⁶.

Efectivamente, hasta la irrupción decidida de los generadores rotatorios en la segunda mitad de la década de los setenta, los arcos voltaicos tan solo se utilizarían excepcionalmente en alguna aplicación especial, seguirían siendo objeto de demostraciones y realzarían contados espectáculos y fiestas. Así llegaron, con mucho retraso, a ciudades como Sevilla (1860), Valencia (1861), Santander (1861), Cádiz (1862), Sabadell (1863), Jerez de la Frontera (1869) o Salamanca (1873)²⁷.

²⁶ *Diario de Barcelona*, 16-VII-1852, p. 4.194.

²⁷ Referencias, por el mismo orden, en R.-M. MADRID, 2007, pp. 196-199; «Alumbrado eléctrico», *Revista de Telégrafos*, 15-VI-1861, pp. 176-177; R. GONZÁLEZ ECHEGARAY, 1982, p. 23; «Fiestas del Corpus» y «La luz eléctrica», *La Moda Elegante*, Cádiz, año XXI, n.ºs 26 y 27, pp. 208 y 216 respectivamente;

Especial mención merece el uso de estos arcos en algunas obras públicas. Muy tempranamente, en el otoño de 1855, año siguiente al de un informe de Louis-Joseph Deleuil a la Académie des Sciences sobre su utilización de la luz eléctrica en las obras de París, el ingeniero Melitón Martín de Bartolomé y Arranz la empleó para poder trabajar de noche en la construcción de un puente del ferrocarril de Aranjuez sobre el arroyo Abroñigal, en las inmediaciones de Madrid²⁸. Más tarde, en 1862, fue la casa Dalmau de Barcelona quien recurrió a ella para iluminar las obras del tramo Gelida-La Granada del ferrocarril Barcelona-Tarragona.

Otra aplicación ensayada entonces por este mismo establecimiento fue la fotografía:

En 1862 cuando el célebre M. Nadar de París llamaba la atención del mundo científico con los retratos que obtenía por medio de la luz eléctrica, verificamos en esta [Barcelona] los mismos ensayos, obteniendo resultados análogos a los suyos; cooperó a nuestro trabajo el entonces aventajado fotógrafo D. Leopoldo Rovira. Empleamos 140 elementos Bunsen y un regulador Deleuil. Las varias fotografías que se llevaron a París resultaron semejantes a las de Nadar²⁹.

Los ingenieros militares probaron por primera vez un arco voltaico a mediados de 1858, con 50 elementos *Bunsen* y regulador *Duboscq*, iluminando las fachadas y jardines del Palacio Real de Madrid por espacio de tres horas seguidas³⁰. No se tiene constancia de que se dotaran de este material para las operaciones en campaña, pero ciertamente, en 1873, durante la última guerra carlista, el Ejército experimentó con aparatos de luz eléctrica para descubrir las operaciones del enemigo durante la noche³¹.

III

UN GRAN AVANCE: LOS GENERADORES ROTATORIOS

Ya se ha indicado que el principio de las máquinas eléctricas, capaces de transformar energía mecánica en eléctrica, estaba ya plasmado en pequeños aparatos como el de Pixii, pero debieron transcurrir muchos años antes de que el concurso de

J. C. ALAYO, 2000b, p. 28; «Álbum de las aguas. / Recopilación de los artículos, reseñas y poesías, que ha publicado la prensa española con motivo de la inauguración de las aguas de Tempul en Jerez de la Frontera el día 16 de julio de 1869 / Jerez [...] 1869», y «Noticias», *Revista de Telégrafos*, 1-X-1873, p. 232. Para Sevilla, también J. ALCAIDE *et al.*, 1994, p. 129.

²⁸ *Diario de Barcelona*, 24-X-1855, p. 8.490, y «Don Melitón Martín», *La Ilustración Española y Americana*, 22-X-1878, pp. 242 y 244.

²⁹ «Alumbrado eléctrico», *El Porvenir de la Industria*, 4-II-1876, p. 80. Las dos noticias sobre actividades de Dalmau en 1862 están tomadas de un relato escrito para la revista, seguramente por su hijo Tomás José.

³⁰ «Descripción de los trabajos de escuela práctica ejecutados en Aranjuez por el regimiento de ingenieros en la primavera del año de 1858», *Memorial de Ingenieros*, 1858, pp. 105-108.

³¹ «Noticias», *Revista de Telégrafos*, 1-X-1873, p. 232, y 1-XII-1873, p. 281.

la invención y el capital produjera algunos generadores comerciales más potentes. El primero fue la máquina llamada de *L'Alliance*, presentada en la Exposición Universal de Londres de 1862 por la empresa franco-inglesa de este nombre. En su origen estaban los trabajos del francés Floris Nollet a finales de la década de los cuarenta y del inglés Edward Shepard unos años más tarde, y su primera aplicación se hizo en los faros de La Hève (Normandía) en 1863. De 1866 data la máquina del alemán Werner von Siemens, presentada por su hermano William en Londres al año siguiente, una de las primeras que utilizaron electroimanes para crear el campo magnético inductor, en lugar de simples imanes. En la Exposición Universal de Viena de 1873 causó sensación la máquina de inducido en anillo, inventada dos años antes, con la que el belga Zenobe Gramme recuperaba, quizá sin saberlo, una idea del italiano Antonio Pacinotti. A estos generadores hay que añadir, completando la nómina de los utilizados inicialmente en España, el ideado en 1876 por el estadounidense Charles Brush, también de anillo, construido en Europa por una empresa anglo-norteamericana establecida al efecto en Londres, en 1879.

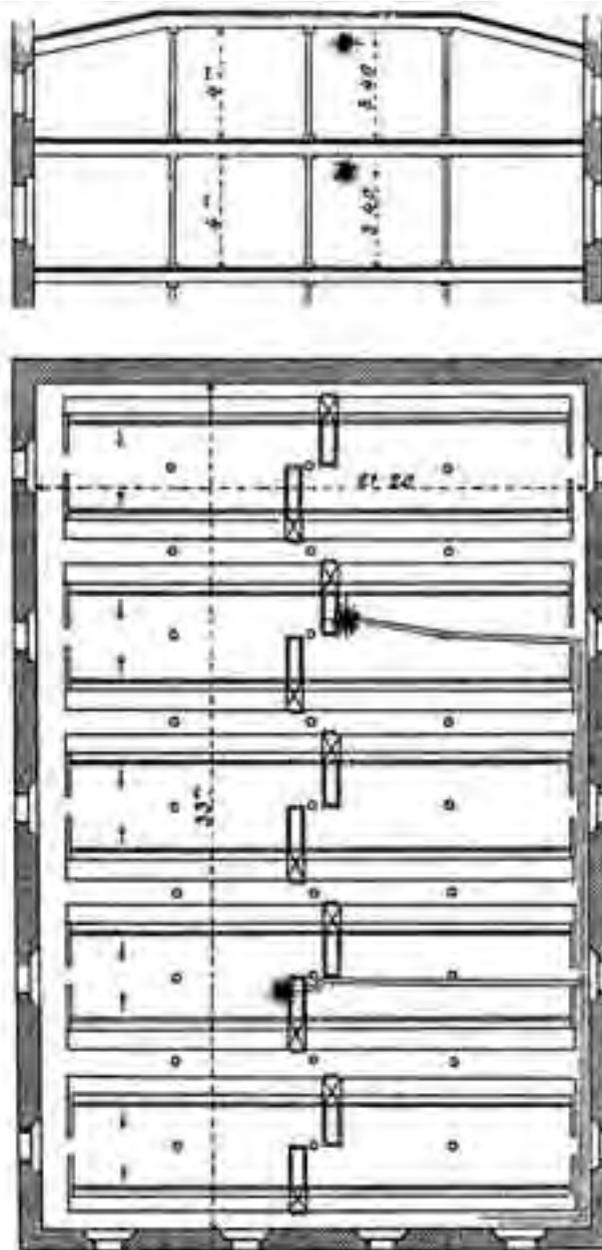
La primera de estas máquinas llegó a España en 1874, importada por la casa Dalmau e Hijo. Era una *Gramme* para funcionamiento manual, el modelo más pequeño de los tres exhibidos en Viena, provista de un imán *Jamin* e ideada para demostraciones de física. La había encargado, para la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, su director, Ramón Manjarrés i Bofarull, después de verla en la Exposición. Conviene señalar aquí que al óptico Dalmau³² le acompañaba en el negocio desde hacía muchos años, y todo indica que con particular dedicación a la electricidad, su hijo mayor Tomás José Dalmau i García, protagonista importante, como se verá, de la introducción de la nueva técnica en España.

Los Dalmau, que desde hacía tiempo esperaban una alternativa a las pilas³³, decidieron informarse de primera mano sobre los nuevos generadores. Un viaje a París y Londres en la primavera de 1874 les convenció de la superioridad de las máquinas *Gramme*, y la Escuela, deseosa de experimentar con la luz eléctrica, para lo que el modelo recibido no servía, les compró otro de tipo industrial y se lo prestó durante un tiempo para que hicieran algunas demostraciones³⁴. Estas tuvieron lugar en 1875, primero en la fragata de guerra *Vitoria*, que se encontraba en el puerto de Barcelona, y

³² J. SÁNCHEZ MIÑANA y G. LUSA, 2009.

³³ En sus propias palabras, refiriéndose a los trabajos de 1862: «Difícilmente hay persona alguna, que habiendo tenido que montar y desmontar unas cuantas veces elementos de Bunsen, en número algo considerable, no haya quedado del todo disgustada de tan engorrosas y peligrosas operaciones. Pasonos lo que en general acontece, no obstante de nuestra afición a esta clase de experimentos, y suspendimos después de dicho trabajo toda clase de ensayos, rehuyendo cuantas aplicaciones se nos ofrecieron. Esperábamos algo mejor que lo conocido hasta entonces, y aplazamos reanudar nuestra tarea de propagación de la luz eléctrica» («Alumbrado eléctrico. II», *El Porvenir de la Industria*, 4-II-1876, p. 80).

³⁴ Sobre la colaboración de Dalmau y la Escuela, véase G. LUSA, 2003.



Pl. 11. Filature de coton de MM. Ricart 814.

14.6. Disposición de las luces de arco voltaico en la hilatura de Hijos de Ricart, Manresa (1876). H. Fontaine, *Éclairage à l'électricité*, París, 1877, pág. 141. En el piso bajo (planta en el dibujo inferior), en el que había diez selfactinas, se colocaron dos lámparas, separadas 15 m. En el superior, que tenía cinco máquinas, una sola. Todas eran alimentadas por máquinas Gramme movidas por el motor principal de la fábrica.

después en dos fábricas próximas a la ciudad, la de chocolates de Juncosa y la de hilaturas de Batlló, todas ellas aprovechando la fuerza motriz existente *in situ*. A últimos de septiembre y por iniciativa del ingeniero Josep Maria Cornet i Mas, quedó funcionando en La Maquinista Terrestre y Marítima la primera instalación permanente de luz eléctrica realizada en España, con una máquina *Gramme* como la de la Escuela y un arco provisto de regulador *Serrin*, que iluminaba un recinto de 2.000 m²³⁵.

En 1876 Dalmau e Hijo empezaron a construir máquinas *Gramme* en sus talleres, con licencia del inventor, que las había patentado anteriormente en España³⁶, y continuaron con las demostraciones, haciendo también instalaciones permanentes. De estas cabe destacar las realizadas en las fábricas de hilaturas de Ricart, en Manresa, y de géneros de punto de Buxeda, en Sabadell, que fueron reseñadas en un libro francés muy difundido en la época³⁷. En cuanto a las demostraciones, hay que mencionar las que tuvieron lugar en Madrid, en el periódico *La Correspondencia de España*, que al parecer no fueron las más adecuadas para resaltar las cualidades de la luz, pues esta era demasiado potente para el tamaño del local, y la máquina de vapor que allí había funcionó con intermitencias³⁸. Las máquinas de Dalmau se utilizaron también para iluminar trabajos de reparación en la presa del Ebro del Canal Imperial de Aragón y en el Arsenal de El Ferrol³⁹.

En 1877 Tomás J. Dalmau hizo, entre otras, instalaciones permanentes en la fragata *Vitoria* y también en la *Numancia*. En ambas, la dinamo, movida por la máquina de elevar las anclas, permitía encender una especie de faro con lente de Fresnel para proyectar la luz a gran distancia o, alternativamente, una luz portátil en cubierta para favorecer las maniobras y operaciones de carga, descarga, etc.⁴⁰ Al faro de la *Numancia*, presente en la noche del 22 de marzo en la bahía de Cádiz tras la llegada de Alfonso XII a la ciudad, iba a unirse la luz, seguramente alimentada por pilas, colocada por el telegrafista Enrique Bonnet Ballester en la azotea del edificio de la Aduana⁴¹.

³⁵ Sobre todos estos ensayos véase el relato del propio Dalmau en *El Porvenir de la Industria*, 25-II-1876, pp. 138-139, y en particular sobre los llevados a cabo en la fábrica de Batlló y *La Maquinista*, *La Gaceta Industrial*, 1875, p. 183, que reproduce un interesante artículo de *La Revista Social*, de Barcelona, y *El Porvenir de la Industria*, 7-IV-1876, pp. 256-258, respectivamente.

³⁶ Zenobo Teófilo Gramme [sic] y Luis Carlos d'Yvernois solicitaron en 30 de diciembre de 1872 privilegio de invención por cinco años de «Máquina magneto-eléctrica sistema Gramme, y sus aplicaciones», y en 17 de noviembre de 1874 de «Perfeccionamientos en las máquinas dinamo-eléctricas» (Archivo Histórico de la Oficina Española de Patentes y Marcas, AHOEPM, expedientes PR 5.037 y PR 5.236, respectivamente).

³⁷ Hyppolite FONTAINE, *L'éclairage à l'électricité*, París, 1877, pp. 139-142.

³⁸ *La Gaceta Industrial*, año XII (1876), pp. 249-250.

³⁹ *El Porvenir de la Industria*, 26-V-1876, pp. 395-396.

⁴⁰ *El Porvenir de la Industria*, 9-III-1877, p. 151.

⁴¹ *Guía Rosetty para 1878*, pp. 72, 94 y 111. Sobre este notable inventor y empresario cuya obra eléctrica pionera corre pareja, aunque en menor escala, con la del mucho más estudiado Tomás José Dalmau, véase J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2007.

En los años siguientes fue creciendo la lista de clientes de Dalmau e Hijo en establecimientos industriales, tanto de Cataluña como de fuera de ella, tales como, en 1879, Fábrica y Minas de Mieres (Asturias), el ingenio de Joaquín Ibáñez en Cuba, y Goitia y Cía. (Beasain, Guipúzcoa)⁴². En el mismo año tuvieron luz eléctrica algunos cafés de Barcelona, bien moviendo el generador *in situ* con un motor de gas o conectándolo a la máquina de vapor de una fábrica próxima y llegando con dos hilos hasta las lámparas. Para que a los parroquianos no les dañara la vista, el arco con su regulador se colgaba del techo junto con un reflector que dirigía la luz hacia arriba⁴³. A principios de 1880 una importante revista eléctrica inglesa daba la noticia de la instalación, en la tienda de Dalmau de la Rambla del Centro, de una lámpara alimentada por una máquina *Gramme* situada a más de 500 metros, empleando un solo conductor y retorno por tierra, disposición esta que, a juicio de la publicación, era la primera vez que se aplicaba en una distancia tan grande⁴⁴.

En 1879 el Instituto Geográfico y Estadístico había utilizado generadores *Gramme* —comprados directamente en Francia— para alimentar los focos de luz eléctrica colocados en los vértices del Mulhacén (Sierra Nevada) y Tetica (Sierra de los Filabres), que junto con los instalados en otras dos estaciones de Argelia permitieron llevar a cabo, por iniciativa del director del Instituto, general Carlos Ibáñez de Ibero, el primer enlace geodésico entre Europa y África⁴⁵.

Así como la introducción de las dinamos de Gramme está bien documentada, no sucede lo mismo con las de Siemens. Se sabe, sin embargo, que el 23, 24 y 27 de enero de 1878 y con motivo de las fiestas por la primera boda de Alfonso XII, se utilizó en Zaragoza una máquina de este fabricante para iluminar una arquitectura efímera levantada por la guarnición de la ciudad en el centro del paseo de la Independencia. Los militares pagaron los aparatos, pero encargaron su adquisición (en París) e instalación al telegrafista local Florencio Echenique Torres⁴⁶. La marca reaparece en 1881, en Madrid, con motivo de los festejos conmemorativos del centenario de Calderón. Telégrafos se encargó de poner luces eléctricas en un monumento al dramaturgo

⁴² Referencia de los dos primeros en «Progreso de la luz eléctrica en España», *La Electricidad*, 1-IX-1883, pp. 203-204, y del tercero en «Alumbrado eléctrico», *El Porvenir de la Industria*, 18-VII-1879, p. 662, en una relación de entidades donde se habían puesto máquinas *Gramme* y lámparas Serrin desde 1875, por lo que puede ser anterior al año de la revista.

⁴³ *La Gaceta Industrial*, 10-III-1879, p. 79, y *El Porvenir de la Industria*, 22-III, p. 11, y 18-VII-1879, pp. 525, 653 y 662. La segunda referencia da a la vez la noticia de la instalación de luz en el café de España de Barcelona y en el «gran salón del Museo Británico», en Londres.

⁴⁴ *The Telegraphic Journal and Electrical Review*, 1-II-1880, p. 54. En la misma fecha, p. 60, dio la noticia, sin valorarla, la revista francesa *La Lumière Électrique*.

⁴⁵ *Gaceta de Madrid*, 10-V-1879, p. 406, y *La Ilustración Española y Americana*, 8-III-1880, pp. 148, 155, 157-158.

⁴⁶ «Bujías Jablochkoff», por Justo Ureña, en *Revista de Telégrafos*, 1-IV-1878, pp. 404-405, *Diario de Zaragoza*, 16, 21, 22, 24, 25 y 28-I-1878, y *Diario de Avisos de Zaragoza*, 12, 24, 25 y 28-I-1878.



14.7. Francisco de Paula Rojas y Caballero Infante: 1) Montaje realizado con la primera dinamo Gramme construida en España por Dalmau bajo licencia (álbum de fotografías Escuela de Ingenieros Industriales, Barcelona, 1878, Fons Històric de Ciència i Tecnologia del mismo centro). La máquina está situada en la planta baja del hoy edificio histórico de la Universidad de Barcelona, plaça Universitat, que entonces albergaba la Escuela, donde también se instaló la primera dinamo introducida en España; 2) Portada del Cuaderno Primero de la serie denominada Elementos de Electrodinámica Industrial (1884 y ss.), base de su magna obra Tratado de Electrodinámica Industrial (1891), en tres volúmenes, calificado en su tiempo como «la biblia de los electrotécnicos españoles», de la que se hicieron varias ediciones hasta, al menos, 1912 (Fons Històric de Ciència i Tecnologia, E.T.S.E.I. de Barcelona); 3) Estudio Elemental Teórico-Práctico de las Máquinas Dinamo Eléctricas (1887), «Memoria Premiada por la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales en el concurso público de 1886» (la sometió bajo el lema: AMPÈRE Y FARADAY). Se muestra la portada y esquema en la que el catedrático de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona explica la inducción, más precisamente el concepto de diámetro de conmutación y posición de las escobillas. Rojas era, además, el director de La Electricidad (véase la fig. 6.5, p. 373, del volumen v de esta misma colección), revista creada por La Sociedad Española de Electricidad, la primera de las dedicadas exclusivamente en España a la ciencia eléctrica. De periodicidad quincenal, su primer número apareció en 1-1-1883; los últimos ejemplares localizados son los de diciembre de 1890, cuando debió de desaparecer, al hacerlo también virtualmente la empresa patrocinadora, tras pasar a ser controlada por la Woodhouse and Rawson de Londres.

frente al Teatro Español, en la plaza de Santa Ana, y en una escenografía del monte Helicon, en el paseo del Prado. Así las describe la revista del Cuerpo⁴⁷:

La intensidad de las dos luces era muy distinta. La más importante, la del Prado, bañaba el gran espacio ocupado por el monte Helicon, produciendo un efecto mágico en las aguas de las cascadas que se despeñaban por aquel monumento. La luz partía de la torre del palacio del Marqués de Alcañices y era producida por una máquina dinamo-eléctrica, del sistema Siemens, modelo número 2, cuya potencia era equivalente a 6.000 bujías. Alternaron los reguladores Siemens y Serrin. El motor que se empleó fue una máquina de vapor inglesa locomóvil, de seis caballos, instalada por la casa del Río.

La luz del teatro Español era producida por 80 elementos Bunsen, alternando los reguladores de los sistemas Foucault y Serrin.

El responsable de los trabajos fue Justo Ureña Velasco, quien recurrió a dos subordinados con experiencia en estas cuestiones, Echenique, ya destinado en



14.8. El «Monte Helicon» iluminado con luz eléctrica en Madrid: La Ilustración Española y Americana, 30-V-1881, grabado a partir de una fotografía de Laurent. El monumento efímero resplandece muy próximo al Palacio de Linares, entonces en construcción, en el ángulo Este de la confluencia del paseo de Recoletos con la calle de Alcalá.

⁴⁷ «La luz eléctrica en las fiestas de Calderón», *Revista de Telégrafos*, 1-VI-1881, p. 319, y *La Ilustración Española y Americana*, 30-V-1881, p. 361 (véase la fig. 14.8) reproduce una fotografía de Laurent que muestra el aspecto nocturno del «simulacro del monte Helicon» iluminado.

Madrid, y Bonnet, que llegó comisionado desde Cádiz. Este volvió a utilizar una máquina *Siemens* en las pruebas de alumbrado público que llevó a cabo con su socio, el ingeniero de caminos Luis La Orden Otaolaurruchi, en Cádiz, junio-octubre de 1882⁴⁸, y en la Feria de Jerez de la Frontera del año siguiente⁴⁹.

IV

LA DIVISIÓN DE LA LUZ ELÉCTRICA

Impresionado por su ensayo, el farmacéutico Simón se había atrevido a afirmar que «una buena luz eléctrica colocada en la Puerta del Sol a una altura conveniente sería bastante para iluminar todo Madrid»⁵⁰. Y ocho años después, José María Guillén, catedrático de Física en la Universidad de Valencia, escribía: «Nada hay en la tierra que pueda compararse con el brillo deslumbrador del arco voltaico, llamado con mucha propiedad *brillo solar*»⁵¹. Mientras estos pequeños soles dependieron exclusivamente de las engorrosas pilas, solo se utilizaron en circunstancias excepcionales, donde su fulgor era más un mérito que un defecto; pero la aparición de las máquinas eléctricas hizo posible concebir que la nueva luz llegaría a la cotidianeidad en calles, fábricas y viviendas. Para ello, aparte de asegurar el funcionamiento continuo y estable de las máquinas, era necesario disponer de focos menos intensos, *dividir* —así se dijo— la luz. Francisco de Paula Rojas y Caballero Infante, catedrático de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, lo veía muy claro en 1879:

Resuelto el primero de los [...] inconvenientes [...] [la continuidad], la luz eléctrica lucharía con el gas en el terreno del alumbrado de las vías públicas, y entonces las ventajas estarían de su parte: es casi seguro que la victoria sería suya con el tiempo, obligando al gas a refugiarse en las casas, tiendas y establecimientos modestos. Resuelto el segundo [la divisibilidad], sería el gas vencido en esta última trinchera sin que le quedase el recurso de retirarse a las aldeas, porque ni su impedimenta le permitiría el viaje, ni su padre el carbón de piedra querría acompañarlo⁵².

El telegrafista ruso Paul Jablochhoff inventó en París en 1876 una modificación del arco voltaico en que los dos carbones se disponían paralelamente, embebidos en

⁴⁸ J. A. FIERRO, 2008, pp. 37-44.

⁴⁹ «La luz eléctrica en Jerez», *El Guadalete*, Jerez, 1-V-1883. El autor del artículo, que firma con las iniciales A. M. (probablemente el telegrafista Alfonso Márquez Rodríguez, subordinado de Bonnet en Cádiz y buen conocedor de sus realizaciones), asegura que el regulador *Serrin* y la máquina eléctrica utilizados «fueron los mismos que sirvieron en Madrid en la iluminación del monte Helicon, cuando las fiestas del centenario de Calderón de la Barca».

⁵⁰ «Nuevo invento», en «Crónica de la capital», *El Clamor Público*, Madrid, 27-VIII-1851.

⁵¹ En su librito *La pila de Volta*, Madrid, 1859.

⁵² *La luz eléctrica y sus aplicaciones*, Barcelona, Biblioteca Ilustrada de Espasa Hermanos, s.f., p. 27. En las pp. 28-29 el autor dice estar escribiendo el 30 de enero de 1879.

material cerámico, formando una barra. Mediante un sencillo dispositivo el arco se cebaba automáticamente en el extremo de esta, llevándolo a la incandescencia. La *bujía Jablochkoff* se consumía progresiva y uniformemente, gracias al necesario empleo de la corriente alterna. Encajaba en un conector *ad hoc* y podía, por tanto, reemplazarse fácilmente una vez gastada, pero, sobre todo, daba menos luz que un arco convencional y con una tonalidad menos violenta, matizable aún más recurriendo a tulipas o globos que podían tener también una función decorativa.

En 1877 Jablochkoff presentó un informe a la Académie des Sciences sobre los resultados que había obtenido en el muelle del Louvre con su sistema de alumbrado, y unos meses después el Ayuntamiento de Madrid decidió instalarlo en la Puerta del Sol, con ocasión de las bodas reales⁵³. Se colocaron en el centro dos farolas en forma de grandes candelabros de tres brazos. En cada uno de estos se alojaban, dentro de un globo, hasta cuatro bujías, las cuales se iban poniendo en circuito sucesivamente mediante un conmutador situado en los sótanos del Ministerio de la Gobernación, donde estaban los generadores, de forma que gastada una se conectaba manualmente otra, consiguiendo así cada día, a razón de hora y media por cada bujía, seis horas seguidas de iluminación sin necesidad de renovarlas⁵⁴. Cada candelabro dependía de un generador de *L'Alliance*, movido por una máquina de vapor y provisto de tres devanados independientes en el inducido, uno para cada brazo. La iluminación, inaugurada el 23 de enero de 1878, sufrió diversas vicisitudes e interrupciones, y fue suprimida en abril de 1881.

Ya antes de su estreno la iniciativa comenzó a recibir fuertes críticas. El 20 de enero, *El Imparcial*, en un artículo sin firma, cargado de datos técnicos, objetaba la utilización de las anticuadas máquinas de *L'Alliance*, consideraba excesivos los 160.000 reales que —según se decía— había costado todo, y se preguntaba por qué en lugar de una máquina de vapor no se había empleado un motor hidráulico que aprovechara la presión del agua del suministro público. Contestó al día siguiente en el mismo periódico el Conde Hamal⁵⁵, diciendo ser el encargado de la instalación, y que, consultado por algunos concejales, había recomendado el sistema *Jablochkoff*. Sin negar el coste que se rumoreaba, defendió el empleo de las máquinas de *L'Alliance* porque solo ellas —entonces todavía era así— producían la corriente alterna necesaria.

Las críticas arreciaron cuando se comprobó que la luz de las nuevas farolas era escasa, y algunas publicaciones técnicas argumentaron que era precisamente allí, en un espacio como la Puerta del Sol, donde la división de la luz no era necesaria y hubieran podido utilizarse arcos voltaicos convencionales, alimentados por máquinas

⁵³ Como referencia general sobre esta instalación, J. M.^a GARCÍA DE LA INFANTA, 2002, cap. 4.

⁵⁴ G. VICUÑA, *Impresiones y juicio de la Exposición Universal de 1878*, Madrid, 1878, pp. 127-128.

⁵⁵ Nada se ha podido averiguar de este personaje, de título belga, que quizá fuera el mismo que el de nombre Fernando, coautor de uno de los proyectos de reforma de la Puerta del Sol presentados durante el Bienio Progresista, y autorizado en 1857 a estudiar un ferrocarril a las minas de Río Tinto (*Gaceta*, de 9-X).

modernas, con un gasto muy inferior⁵⁶. Las de *L'Alliance* se estropearon muy pronto y tuvieron que ser sustituidas en el mismo verano de 1878 por los alternadores que ya fabricaba Gramme, precisamente para poder atender la demanda generada por la relativa proliferación de luces *Jablochkoff* en Europa.

Otra variante del arco voltaico fue la debida al inglés Richard Werdermann, ensayada en público en París en 1879. Descrito su funcionamiento, al igual que el de la bujía *Jablochkoff*, por una combinación de incandescencia y arco, su electrodo negativo era una placa fija horizontal de carbón y el positivo una varilla vertical del mismo material cuya punta sobresalía de una camisa metálica, dentro de la cual podía moverse hasta consumirse, manteniéndose en contacto con la placa mediante un contrapeso. La lámpara *Werdermann* fue utilizada por Bonnet y La Orden en los mencionados ensayos de Cádiz de 1882. Bonnet la conocía bien, pues había trabajado en el perfeccionamiento de otra muy similar, la del francés Émile Reynier, y presentado su propia versión en la Exposición Regional de Cádiz de 1879⁵⁷.

En 1872 dos ingenieros militares españoles residentes en San Francisco, California, abordaron la cuestión de la división de una manera muy distinta. Eusebi Molera i Bros y Juan Cebrián Cervera, experimentados en sistemas ópticos, concibieron la idea de dividir la luz misma de las lámparas de arco. Empleando lentes, prismas y espejos la dividían y canalizaban hasta los puntos en que fuera a utilizarse. El 21 de abril de 1879 leyeron una memoria sobre su invento a la California Academy of Sciences, y ocho días después obtuvieron la patente que habían solicitado nueve meses antes⁵⁸. El 5 de mayo volvieron a la Academia con un documento complementario⁵⁹.

Parece que la prensa técnica de los Estados Unidos acogió la idea con entusiasmo. Desde luego, el *Scientific American* del 29 de junio le dedicó toda la portada con grabados y el artículo «Practical divisibility of the electric light». En agosto y septiembre se hicieron con éxito demostraciones públicas en el edificio de la Pacific Electric Light Company de San Francisco, con buenos rendimientos, es decir, con relativamente bajas pérdidas de luz, en operaciones como alumbrar por los techos dieciséis estancias a partir de un único arco⁶⁰.

⁵⁶ Véase el artículo citado de Justo Ureña, «Bujías Jablochkoff», y diversos números contemporáneos de *La Gaceta Industrial*, especialmente la segunda entrega del artículo «Alumbrado eléctrico industrial y luz eléctrica en la Puerta del Sol», de 25-I-1878, pp. 28-30.

⁵⁷ J. ROSETTY, *Guía oficial de Cádiz, su provincia y su Departamento para el año de 1880*, Cádiz, 1879, pp. 144-145.

⁵⁸ «System of lighting», US patent 214,835.

⁵⁹ Memoria y complemento en «Divisibilidad práctica de la luz eléctrica / Memoria descriptiva del sistema Molera y Cebrián. Barcelona. Imprenta de Leopoldo Domenech [...] 1879».

⁶⁰ *La Lumière Électrique*, 30-IV-1881, p. 319, carta al director firmada por Molera y Cebrián en San Francisco el 28 de marzo anterior, y «Division of electric light», *Scientific American*, 25-X-1879, p. 260, copia de un artículo de *Mining and Scientific Press* de fecha no especificada. Vale la pena señalar que utilizaron equipos europeos: aparato *Serrin* regulador del arco, con máquina *Gramme* y, alternativamente, aparato y generador *Siemens*.



14.9. Iluminación de una mina por el sistema de división de la luz de Molera y Cebrián: La *Lluminera* de Nova York, n.º 54, octubre de 1879. Esta revista en catalán, que se publicaba en la ciudad norteamericana, debió de tomar el dibujo de una fuente local no especificada. En él se esquematiza la distribución, por medios ópticos, de la luz producida por una lámpara eléctrica, a dependencias, pozos y galerías de la mina.

Molera y Cebrián quisieron traer su invento a España. En 1879 obtuvieron aquí la patente⁶¹ e hicieron publicar en Barcelona la traducción de las memorias presentadas a la Academia de California y un dictamen sobre el sistema. Ambos folletos fueron encomendados al pionero electricista Innocent Paulí i Galcerà⁶², quien firmó el segundo el 10 de septiembre. Seguramente se difundieron junto con un impreso, de fecha 2 de diciembre, anunciando la apertura de suscripción de acciones de una sociedad que con el nombre *Alumbrado Eléctrico* se pensaba constituir, caso de dar buenos resultados los ensayos que iban a hacerse⁶³. Para ocuparse de estos, Cebrián llegó a Barcelona a finales de enero de 1880, si bien parece que hubo de viajar un tiempo por Europa

⁶¹ El 30 de agosto. OEPM, exp. patente 390.

⁶² Sobre este polifacético personaje, véase S. Tió, 2007. Aunque su nombre no figura en la edición de las memorias de Molera y Cebrián, la inscripción «I. P. dib^o» en la lámina desplegable que contiene parece suficiente para atribuirle el folleto.

⁶³ «Divisibilidad práctica de la luz eléctrica / Sistema Molera y Cebrián. Dictamen de I. Paulí. Barcelona. Establecimiento Tipográfico de L. Domenech / calle de Basea, número 30, principal. 1879». El anuncio es un díptico titulado «Alumbrado eléctrico sistema Molera y Cebrián», aparecido dentro de un ejemplar del *Dictamen* adquirido por uno de los autores (Sánchez Miñana). En él, entre otras cosas, se especifican las pruebas previstas.

para encargar la construcción de los prismas y lentes necesarios. En la fábrica de Batlló, donde iban a tener lugar las pruebas, se hicieron diversos preparativos, pero a finales del verano los elementos pedidos al extranjero no se habían recibido, y Cebrián, que no podía prolongar más su estancia, tuvo que regresar a San Francisco⁶⁴. Es muy posible que hubiera un nuevo intento al año siguiente, al menos esa era la voluntad de los inventores⁶⁵, y hay noticia en abril de la llegada de unas lentes⁶⁶, pero se hiciera en ese u otro año, solamente se ha encontrado un testimonio de que el ensayo no convenció⁶⁷.

En cualquier caso, la solución definitiva al problema de la división llegó con las lámparas de incandescencia, todavía hoy ampliamente usadas, en las que un filamento en el vacío, recorrido por la corriente, alcanza alta temperatura sin arder y emite luz. Era una idea antigua, que se empezó a experimentar a mediados del siglo XIX, y en cuyo perfeccionamiento trabajaron, en los últimos años de la década de los setenta, inventores como Thomas A. Edison y Hiram Maxim, en Estados Unidos, y Joseph Swan en Inglaterra. En España los ingenieros de minas Amalio Gil Maestre y Daniel de Cortázar describieron en 1879 un aparato de su invención para el alumbrado individual de los mineros con lámpara de filamento de carbón⁶⁸.

Swan demostró su lámpara el 20 de octubre de 1880 en la Newcastle Literary and Philosophical Society, y al mes siguiente el ingeniero industrial Narcís Xifra i Masmitjà, que trabajaba para la casa Dalmau, publicó un artículo sobre ella en una revista de Barcelona⁶⁹. No es extraño, pues, que el 2 de agosto de 1881 treinta lámparas del inventor inglés formaran parte de la instalación que la Sociedad Española de Electricidad, continuadora, como sociedad anónima, del negocio eléctrico de los Dalmau, realizó en el parque del palacio del Marqués de Comillas, en la población cántabra de este nombre, con motivo de la estancia de la familia real española⁷⁰.

⁶⁴ *Memorial de Ingenieros y Revista Científico-militar*, 15-XI-1880, p. 175.

⁶⁵ Véase la carta citada a *La Lumière Électrique*.

⁶⁶ «Han llegado a esta capital los grandes lentes que se aguardaban para el establecimiento del alumbrado por medio de la divisibilidad de la luz, invención de los señores Cebrián y Molera» (*La Vanguardia*, 1-IV-1881, p. 1.135).

⁶⁷ Suárez Saavedra, en su «Revista de la electricidad y de sus aplicaciones», *Industria e Invenciones*, 17-I-1885, p. 264, refiriéndose a la idea de un arquitecto francés de colocar en lo alto de la gran torre proyectada para la Exposición de París de 1889 (la futura Torre Eiffel) un gran arco voltaico, e iluminar a partir de él toda la ciudad por reflexiones sucesivas, escribió: «[...] ahí están los experimentos hechos por los Sres. Molera y Cebrián hace unos pocos años en la fábrica de Batlló, que prueban bien que si la iluminación eléctrica no es en absoluto imposible con este sistema, hay en cambio una enorme pérdida de fuerza que hace inadmisibles por hoy tal procedimiento».

⁶⁸ En su libro *Historia, descripción y crítica de los sistemas empleados en el alumbrado de las excavaciones subterráneas. Nuevo método de iluminación en las minas*, Madrid, 1880, cuyo prólogo está fechado el 1 de marzo de 1879.

⁶⁹ «Alumbrado eléctrico; lámpara de M. J. Swan», *Crónica Científica*, 25-XI-1880, pp. 524-531.

⁷⁰ «Nuestros grabados», *La Ilustración Española y Americana*, 8-IX-1881, p. 131.

V

LAS PRIMERAS FÁBRICAS DE LUZ

La Sociedad Española de Electricidad, cuyo primer responsable fue su promotor, Tomás José Dalmau, con Xifra como director técnico, se había constituido en Barcelona el 30 de abril de 1881⁷¹, y el 28 de agosto inició, con las dinamos y lámparas de arco que fabricaba, la iluminación de una de las salas del Palais de l'Industrie de París, en que tenía lugar la Exposición Internacional de Electricidad, un certamen que marcó un hito en la historia de esta técnica.

El objeto social de esta empresa era fabricar y vender aparatos y máquinas para todas las aplicaciones eléctricas, y «proporcionar —se decía en sus estatutos— el fluido eléctrico necesario, ya sea como alumbrado, ya como fuerza motriz». Rápidamente instaló una central en una antigua fábrica textil de cinco plantas, en la calle del Cid, cercana al puerto para proveerse mejor de carbón. Allí había quedado una máquina de vapor de balancín de 20 CV, construida por Alexander Hnos., a la que se añadieron otras dos: una tipo *Corliss* de 40, construida por La Maquinista Terrestre y Marítima, y otra tipo semi-fija vertical de 6⁷². La energía producida por las dinamos movidas por estas máquinas la consumía mayoritariamente la fábrica de material eléctrico que tenía la sociedad en el mismo edificio, pero una parte se fue suministrando mediante líneas de baja tensión a diversos usuarios externos.

De hecho, parece que la Española fue la sexta empresa del mundo en distribuir electricidad, que ya entre el 25 de abril y el 14 de mayo de 1881 llegó, mediante alambres tendidos por encima de las terrazas de las casas, al muelle nuevo de San Ramón, para unas pruebas de alumbrado⁷³. En septiembre se iluminaron las Ramblas a toda prisa para las fiestas de la Mercè⁷⁴, y en noviembre los alambres se prolongaron hasta la fábrica de pianos de Bernareggi, Gassó y Cía. en la calle Ponent, hoy Joaquín Costa, con ocasión de un concierto⁷⁵. Pero el año terminó, y varios más pasarían también, sin que Tomás J. Dalmau hubiera conseguido el permiso municipal para hacer canalizaciones, tanto para el alumbrado público, que esperaba fuera su principal fuente de negocio inmediato, como para el particular, que se le empezó a reclamar tras el éxito de sus presentaciones de las lámparas de Maxim y Swan⁷⁶.

⁷¹ Sobre la corta peripetia de esta empresa véase el trabajo fundamental de J. MALUQUER DE MOTES, 1992.

⁷² *La Electricidad*, 1884, p. 36.

⁷³ Fueron proyectadas por el ingeniero de caminos Mauricio Garrán Román, durante muchos años jefe de obras del puerto, que las describió minuciosamente en la *Revista de Obras Públicas*, 30-VII y 15-VIII-1881, pp. 157-161 y 169-174.

⁷⁴ *Gaceta de la Industria y de las Invenciones*, 1-X-1881, pp. 126-127.

⁷⁵ *La Vanguardia*, 26-XI-1881, pp. 5-7.

⁷⁶ «Alumbrado eléctrico por lámparas Swan», *Gaceta de la Industria y de las Invenciones*, 22-X-1881, pp. 152-153, y cita del periódico *La Crónica de Cataluña* en la misma revista, 3-XII-1881, p. 215.



14.10. Tomás José Dalmau y García e Isidoro Cabanyes y Olzinellas: La Ilustración Militar, julio de 1882. Tomás José Dalmau (Barcelona, 1839–1905), regente con su padre, Francesc Dalmau i Faura, de un acreditado establecimiento de óptica e instrumentos científicos, promovió la creación de la Sociedad Española de Electricidad en 1881 y la dirigió hasta su cese, tres años después, en medio de crecientes dificultades económicas. El artillero e inventor Isidoro Cabanyes (Vilanova i la Geltrú, 1843–San Lorenzo de El Escorial, 1915) fue con Dalmau uno de los fundadores de la Sociedad Matritense de Electricidad, filial de la Española, a finales de 1882. Como su primer director facultativo, debió de ocuparse del montaje de una central en los Jardines del Buen Retiro y de la definitiva del Ministerio de la Guerra.

Conviene insistir en que la fábrica de la calle del Cid fue también la primera de España que hizo funcionar las máquinas herramientas mediante motores eléctricos:

La transmisión conduce la fuerza de una o de ambas máquinas, de balancín o Corliss, al interior y planta baja del taller, en donde se hallan montadas las máquinas electromagnéticas que transforman la fuerza en electricidad, y parten de ellas los alambres conductores para distribuir esta de un modo conveniente a las dependencias de la fábrica y al establecimiento del señor Dalmau⁷⁷, en cuya tienda arden algunas lámparas de incandescencia, cuya luz fija y brillante, más intensa que la que produciría un gas rico y puro del alumbrado, viene admirándose desde hace algún tiempo. Un pequeño taller, sección de relojería, otro de alambres y conductores, carpintería, donde se ve establecida una sierra mecánica y su máquina dinamo-eléctrica, que transforma en fuerza la electricidad y da movimiento a la misma sierra, laboratorio de ensayos [...] todo alumbrado con grandes focos de luz eléctrica⁷⁸.

⁷⁷ La antigua tienda de óptica e instrumentos diversos de Dalmau en la Rambla, frente al Liceo.

⁷⁸ *Revista Tecnológico-Industrial*, febrero 1882, p. 62.

Enseguida Dalmau buscó promocionar la empresa en Madrid, donde creía que, al ser el gas más caro que en Barcelona, las perspectivas de negocio eran mejores:

[...] es Madrid quizá el punto de Europa más apropiado para establecer en ella la luz eléctrica con segurísimos resultados lucrativos para la Empresa o Empresas que tomen a su cargo la instalación y explotación [...].⁷⁹

El 4 de marzo de 1882 la Española hizo una demostración que fue muy bien acogida: utilizando la máquina de la imprenta de *El Imparcial*, alimentó a la vez seis lámparas de incandescencia en la redacción del periódico, diez en la óptica de Aramburu y doce en el salón del Teatro Español⁸⁰. Pero su principal logro fue un contrato con el Ministerio de la Guerra para el alumbrado interior y exterior de su sede del Palacio de Buenavista. Las máquinas se colocaron en una construcción *ad hoc*, dentro de una parcela de más de 800 m² de los jardines del recinto, que la empresa quedaba autorizada a utilizar durante quince años para generar también electricidad para terceros⁸¹. La instalación fue inaugurada el 10 de junio de 1882, con una potencia inicial de 35 CV que se preveía llegaran a 1.000 CV. Parece que el primer cliente particular fue el café de Madrid, situado en la acera norte de la calle de Alcalá, junto a la Puerta del Sol, cuya iluminación se estrenó el 7 de septiembre, alimentada por cables subterráneos⁸². El director técnico de todos estos trabajos, y algún otro de la Española realizado por entonces, fue el notable inventor, a la sazón capitán de Artillería, Isidoro Cabanyes y Olzinellas, quien había montado en la calle Lagasca un «taller de precisión» dedicado a la electricidad⁸³.

Hay que señalar que en 1882 el público de Madrid pudo ver por los mismos días, además de las luces del Palacio de Buenavista, las instaladas transitoriamente como ensayo por otras entidades. Por un lado, el Ayuntamiento y la empresa del gas, en curiosa asociación, alumbraron un trozo de la calle de Alcalá con material *Siemens* alquilado. Por otro, la empresa Telefonía, Fuerza y Luz Eléctrica, Compañía General de Electricidad, de vida efímera, constituida en Barcelona unos meses después que la Española y cuyo responsable era Rafael Roig y Torres, licenciado en Ciencias y direc-

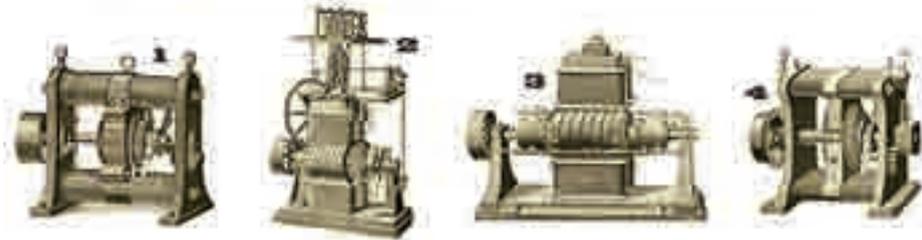
⁷⁹ *Cuatro palabras a los señores accionistas*, Sociedad Española de Electricidad, marzo de 1883.

⁸⁰ «Alumbrado eléctrico», *El Imparcial*, 5-III-1882, pp. 1-2.

⁸¹ «Alumbrado eléctrico del Ministerio de la Guerra», *La Gaceta Industrial*, 10-V-1882, p. 140; «El alumbrado eléctrico en el palacio de Buenavista (Madrid)», *Memorial de Ingenieros del Ejército*, 15-VI-1882, pp. 94-95, por el ingeniero militar encargado del estudio, Luis Martín del Yerro; e «Instalación para producir la luz eléctrica en el Ministerio de la Guerra», *La Ilustración Española y Americana*, 8-VII-1882, pp. 3, 6 y 12, esta última con un interesante grabado de la disposición de las máquinas.

⁸² Noticias en *El Imparcial*, 8-IX-1882, p. 2, y *La Gaceta Industrial*, 10-IX-1882, p. 271. Los cables subterráneos los menciona J. TURINA, 1997, pp. 143-144.

⁸³ *La Ilustración Militar*, VII-1882, p. 370.



14.11. Iluminación eléctrica exterior y central provisional instalada en el Ministerio de la Guerra, Madrid (1882): La Ilustración Española y Americana, 22-VI y 8-VII-1882, respectivamente. Puede verse la gran máquina de vapor locomóvil Clayton de 25 CV que transmitía el movimiento, mediante correas, a los generadores, de los que se representan cuatro aparte. A destacar los marcados con el número 1, «máquina Gramme, tipo de taller», el primer generador industrial ensayado en España en 1875, y el número 4, «máquina Gramme, de cinco focos de luz», también conocida como L5, que construía en Barcelona la Sociedad Española de Electricidad. Según La Gaceta Industrial, 10-VI-1882, en «El alumbrado eléctrico en Madrid», citando al responsable de la instalación, el capitán Cabanyes, tres generadores del segundo tipo (L5) alimentaban 15 lámparas de arco distribuidas por la parte exterior del edificio y jardines, y un generador Maxim (uno de los otros dos, con el número 2 y 3) alimentaba 43 lámparas incandescentes de este mismo inventor; para el alumbrado interior.

tor de la revista *Crónica Científica*, iluminó con equipos *Brush* el Parterre del Retiro, con ocasión de una exposición de animales y plantas⁸⁴.

En Barcelona hubo, pues, transitoriamente, alumbrado público eléctrico en algunos lugares desde 1881, y en Madrid desde 1882 (o 1878 si se considera el instalado en la Puerta del Sol), pero fueron los ayuntamientos de San Sebastián e Irún los primeros en establecerlo de forma permanente, contratándolo con la firma Hammond Electrical Engineering de Londres. Se sabe que en Irún se utilizaron lámparas de arco y de incandescencia en las calles y el Casino, alimentadas por máquinas *Brush*, y que el servicio debió de iniciarse a finales de 1882, si bien poco tiempo después, el 27 de septiembre del año siguiente, se decidió suprimirlo, a la vista de su mal funcionamiento⁸⁵.

Queda dicho que en todos estos casos de incipiente distribución de energía eléctrica, esta se transportaba, como hoy, por medio de conductores que unían físicamente el generador central con los receptores más o menos lejanos. Este procedimiento, que al final prevaleció, no fue el único imaginado por entonces. Una alternativa era distribuir energía mecánica, caso de las redes de suministro de agua o de aire comprimido, para transformarla localmente en eléctrica mediante un generador a la medida de las necesidades del usuario. Roig y Torres escribió sobre ello en su revista en 1879:

Se podrían establecer aparatos de compresión en diferentes puntos de la ciudad, en el campo si se quiere; canalizar las vías públicas estableciendo derivaciones a todos los edificios, como se efectúa con el agua y el gas. En los extremos de todas estas ramificaciones destinadas para el alumbrado, fuese en el interior de edificios, fuese sobre la vía pública, no habría inconveniente en colocar *pequeños* aparatos magneto-eléctricos provistos de un tambor con paletas u otro órgano equivalente para que al dar paso al aire comprimido y poner en movimiento la pequeña máquina tuviera lugar la transformación de la fuerza mecánica en electricidad. Para completar el sistema sería necesario la presencia de pequeñas lámparas eléctricas y de manera que la luz emitida fuese proporcional a la intensidad de la corriente producida por la máquina y estuviera en relación con el espacio que debiera alumbrar. El sistema nos parece sencillo, y por su economía es práctico⁸⁶.

⁸⁴ Algunos detalles de estas instalaciones y la muy interesante opinión del autor, el director de la publicación e ingeniero industrial José Alcover Sellent, sobre luz eléctrica frente a gas, en una serie de tres artículos de *La Gaceta Industrial*, 10 y 25-VI, y 10-VIII-1882, pp. 165-166, 177-179 y 225-227.

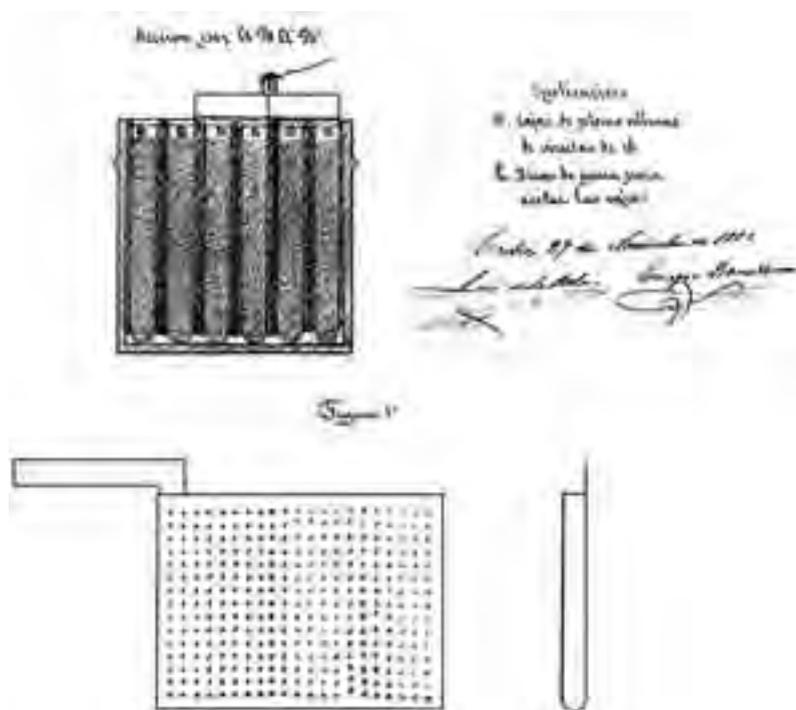
⁸⁵ Véase *1882-1895: Luz eléctrica en Irún*, 1995. En este trabajo se indica que la empresa se había comprometido a encender el alumbrado en San Sebastián el 1 de agosto de 1882 y que el instalador pidió al Ayuntamiento de Irún que le permitiera aplazar el de esta ciudad para poder cumplir con la otra, a lo que la corporación accedió. Por otra parte, en «Faits divers», *La Lumière Électrique*, 12-VIII-1882, p. 167, se lee que Hammond ha instalado aparatos de alumbrado sistema *Brush* en San Sebastián, Irún y Bilbao.

⁸⁶ «Fraccionamiento de la luz eléctrica: aparatos de Edison», *Crónica Científica*, n.º 30, 1879, pp. 130-131. Un tal Tabourin presentó una propuesta similar a la Académie des Sciences de París (*Comptes rendus...*, t. 92, p. 1473), y Roig reclamó la prioridad (*Comptes rendus...*, t. 93, p. 101).

Gil y de Cortázar en su libro citado del mismo año recogieron esta propuesta, opinando que podría ser útil en las minas y también en Madrid —en la línea del mencionado artículo de *El Imparcial* con motivo del primer alumbrado eléctrico de la Puerta del Sol—, «empleando en vez del aire comprimido, el agua del Lozoya, cuya presión no baja de dos a dos y media atmósferas por término medio».

No se han encontrado en España casos de aplicación de estas ideas que, sin embargo, sí se dieron en el extranjero. En 1886, en París, comenzó a generarse localmente electricidad para el alumbrado a partir del aire comprimido que distribuía por concesión municipal la empresa de Victor Popp. Otro inventor, François van Rysselberghe, hizo pruebas en Berlín de un sistema que aprovechaba la presión del agua de la red, y cuando murió, en 1893, estudiaba su instalación en Amberes.

Otra forma de distribución indirecta la constituyeron las pilas primarias y las secundarias o acumuladores, estos ideados ya en 1859 por Gaston Planté. La disponibilidad de pequeñas lámparas de incandescencia, cada vez más fiables y asequibles, y la



14.12. Plano de la patente de acumuladores eléctricos de Luis La Orden Otaolaurruchi y Enrique Bonnet Ballester (1883): Oficina Española de Patentes y Marcas, exp. P3782. Formando sociedad eléctrica en Cádiz, pronto interrumpida por la prematura muerte del primero, registraron diversos perfeccionamientos de los dispositivos básicos de Planté, con objeto de «obtener grandes superficies de acumulación con poco peso y volumen reducido, más prontitud en la formación, y gran facilidad para reponer las láminas positivas en caso de necesitar renovarlas por haberse inutilizado».

todavía lejana posibilidad de que la electricidad llegara directamente a muchos hogares y establecimientos deseosos de alumbrarse con ellas, hizo volver los ojos a estos medios de producción o almacenamiento, no obstante sus inconvenientes. Por ello, de su perfeccionamiento se ocuparon muchos electricistas. En España deben citarse Bonnet, Cabanyes e Isaac Peral Caballero, que patentaron sus innovaciones en acumuladores entre 1883 y 1890⁸⁷. Cabanyes patentó también una pila primaria en 1890, con la que llevó por primera vez la luz eléctrica al interior del Palacio Real de Madrid⁸⁸.

VI

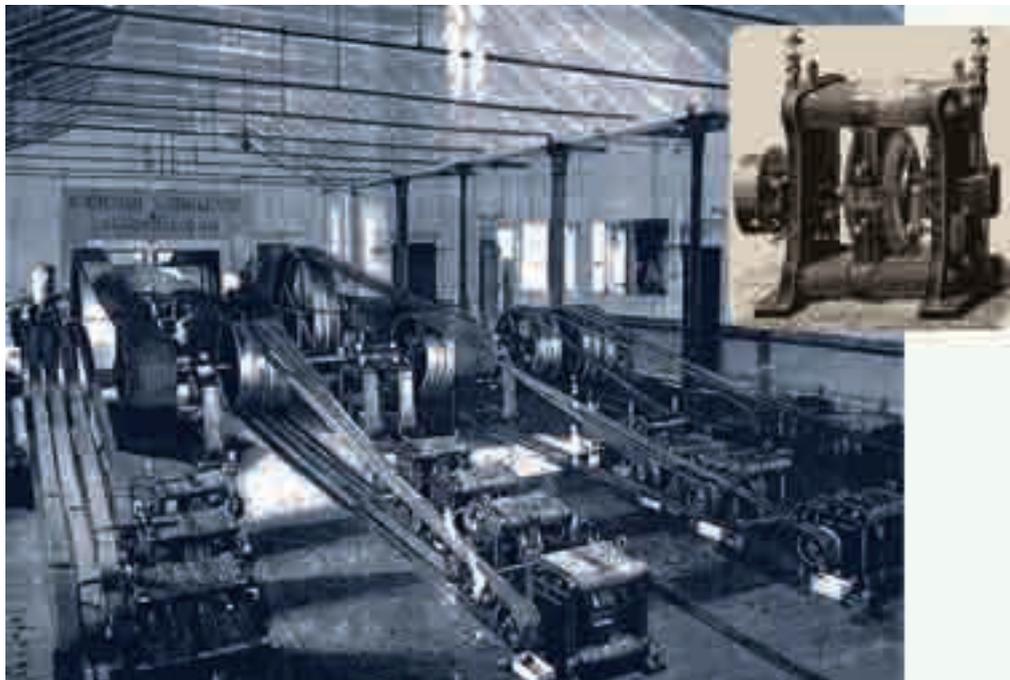
LA ELECTRICIDAD SE EXTIENDE

A partir del año 1842 en Barcelona, y posteriormente en otras poblaciones, el gas había empezado a alumbrar los lugares públicos, las industrias y los establecimientos, y la electricidad, casi cuarenta años después, comenzaba a hacer el mismo camino. La innovación, la seguridad o también a veces el precio ayudaron al cambio. El gas manufacturado tuvo momentos de debilidad, pero la electricidad no siempre acabó imponiéndose con la facilidad que se podía prever. Las fábricas aplicaron nuevos precios o desarrollaron técnicas para competir con ella, como es el caso del mechero inventado por Karl Auer, que fue importante para mantener durante muchos años este tipo de alumbrado. No obstante, muchas compañías de gas iniciaron la electrificación sin abandonar este producto, garantizándose así el uso de uno u otro fluido energético.

Barcelona inició, como se ha dicho, el uso del alumbrado público eléctrico en 1881, igual que Londres o Nueva York, pero la ciudad siguió iluminada con gas porque este era mucho más barato. Por ello, la Sociedad Española de Electricidad hubo de extender su negocio a otras ciudades, comenzando por Madrid, y lo hizo mediante la creación de filiales. En mayo de 1882 se constituía la Sociedad Matritense de Electricidad, como sociedad independiente para desarrollar su función en la corte, y en enero de 1883, y con las mismas características, la Sociedad Valenciana de Electricidad, después de que a partir del mes de noviembre anterior se hubieran hecho instalaciones en algunos comercios de la capital y una prueba de alumbrado público en Sueca. Con estas empresas se intentaba también contrarrestar la competencia que empezaba a aparecer de constructores extranjeros de material, que igualmente promovían la electrificación, siempre que se hiciera con sus propios productos. Se tenía previsto repetir la operación

⁸⁷ El primero ya había presentado un acumulador sistema Planté, construido por él, en la Exposición Regional de Cádiz de 1879. Véase J. ROSETTY, *Guía oficial...*, p. 145. Peral, tras la debacle de su submarino estableció en Madrid una fábrica para producir sus acumuladores (A. R. RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, 2007, pp. 375-376).

⁸⁸ «Alumbrado eléctrico doméstico. La pila Cabanyes en el Palacio Real», *Revista de Electricidad*, 10-XI-1890, p. 166.



14.13. Central eléctrica de la Sociedad Matritense de Electricidad y dinamo Gramme L5:

1) Sala principal de la central «Reina Mercedes», instalada en los Jardines del Buen Retiro de Madrid en 1883, con cuatro máquinas de vapor, dos de 75 CV y dos de 80 CV. Las dinamos eran todas del tipo L5. La demanda eléctrica se regulaba poniendo o quitando generadores mediante las correas de transmisión; 2) La dinamo Gramme L5 (La Ciencia Eléctrica, 1-VII-1890) fue una máquina perfeccionada que podía funcionar conectada a 5 lámparas de arco, en lugar de a una sola; de ahí su nombre. La construía en Barcelona la Sociedad Española de Electricidad, cuyo ingeniero Narcís Xifra hizo algunas modificaciones en el diseño original, entre las que destaca la utilización de electroimanes planos.

en otras ciudades, pero la nueva situación financiera de falta de capital y dificultad para obtenerlo fue decisiva para anular estas pretensiones de expansión, si bien se sabe que en Sevilla, entre marzo y abril de 1883, se llegó a iluminar algunas plazas y el Real de la Feria, en Zaragoza una fábrica y un café, y en Bilbao el paseo del Arenal en abril o mayo. Todo apunta a que al menos los trabajos de Sevilla y los iniciales de Valencia fueron dirigidos por Paulí, que, a la sazón, trabajaba para la Española⁸⁹.

⁸⁹ De las primeras instalaciones de la Española en Valencia da cuenta una carta de 16 de diciembre de 1882 publicada en *La Electricidad*, 15-I-1883, pp. 19-20, y firmada «P.», muy probablemente por Paulí. Sobre ellas y las de Sevilla y Zaragoza, véase el folleto «Sociedad Española de Electricidad / Cuatro palabras a los señores accionistas / 28 de marzo de 1883», pp. 15-18. En cuanto a las de Bilbao, *La Electricidad*, 1-VI-1883, pp. 129-130. La actuación de Paulí en Valencia está documentada en *El Correo de Tortosa*, 5-XII-1882. En cuanto a su presencia en Sevilla, véase S. Tió, 2007, pp. 37-38.

A partir de estos años se acumulan los acontecimientos relacionados con la creciente aplicación de la electricidad. Así, en la esfera oficial, en 1884 el Ministerio de Marina decidió dotar de alumbrado eléctrico a todos los buques de guerra, y en 1888 el Ministerio de la Gobernación, por Real Orden de 30 de marzo, aprobó un reglamento del alumbrado eléctrico y calefacción, preparado por la Junta Consultiva de Teatros de Madrid, con la previsión de hacerlo extensivo a las demás provincias. Uno de los primeros en cambiar a la nueva iluminación fue el Teatro Principal de Cádiz, que contrató la instalación con Bonnet en octubre de 1887⁹⁰. Un año después, el 9 de noviembre de 1888, tuvo lugar la prueba oficial de la del Teatro Real de Madrid, último encargo importante que, bajo la dirección del antiguo telegrafista Josep Casas i Barbosa, realizó la Sociedad Matritense de Electricidad antes de su desaparición⁹¹.

Aparte de instalaciones propias de fábricas o establecimientos comerciales, que se autoabastecían de electricidad, en el año 1885 Barcelona, Madrid, Valencia, San Sebastián y Bilbao disponían de una central eléctrica que proporcionaba alumbrado eléctrico a una pequeña parte de la población. En Málaga no había central eléctrica, pero se sabe que contaban con dos instalaciones particulares que daban suministro a varios vecinos. Esta fue una fórmula que también se utilizó en otros puntos de España.

Capital de Provincia	Empresa	Año
Barcelona	Sociedad Española de Electricidad	1881
Madrid	Sociedad Matritense de Electricidad	1882
Valencia	Sociedad Valenciana de Electricidad	1882
San Sebastián	Hammond Electrical Engineering	1882
Bilbao	Sociedad Española de Electricidad	1883
Málaga	Dos instalaciones particulares ⁹²	1884

Cuadro 14.1. Empresas eléctricas y fecha de fundación en capitales de provincia.

En Barcelona existía una nueva central. La Sociedad Española de Electricidad había empezado a construirla en 1883 en el paraje conocido como Las Huertas de San Bertrán, y funcionaba desde 1884. Era la tercera que se instalaba en la ciudad y respondía al ambicioso proyecto de contar con hasta seis máquinas de vapor de 200 CV, es decir, una capacidad diez veces superior a la de las dos primeras centrales, si bien

⁹⁰ *Diario de Cádiz*, 9-X-1887.

⁹¹ J. TURINA, 1997, pp. 158-170. Véase también *La Gaceta Industrial*, 25-XII-1888, pp. 390-392.

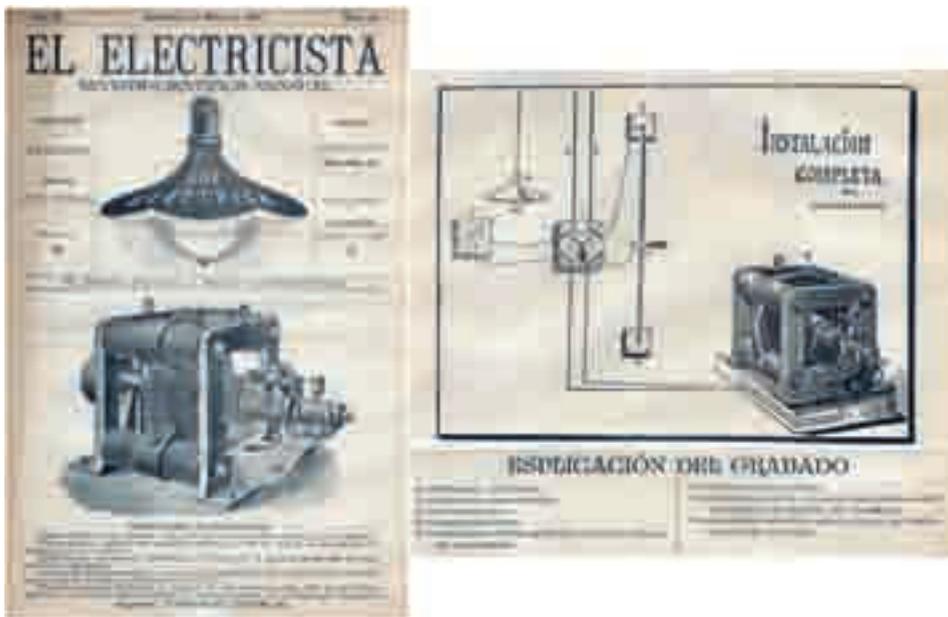
⁹² F. ALARCÓN DE PORRAS, 2000.



14.14. Plano de la primera red eléctrica de Madrid, construida por la Sociedad Matritense de Electricidad: «L'industrie électrique en Espagne et au Portugal». La Lumière Electrique, 18-IV-1885. Los autores, ¿Geza? Szarvady y ¿Paul? Clemenceau, publicaron el artículo después de viajar a la Península por encargo de esta revista francesa. Nótese la ubicación de las dos centrales, Ministerio de la Guerra y Jardines del Buen Retiro, marcadas respectivamente con los números 1 y 2.

comenzó con solo 200 CV y tardó más de diez años en llegar a la potencia prevista. El primer suministro de alumbrado eléctrico de esta central fue al gran almacén comercial El Siglo, situado en la parte baja de Rambla. Con esta instalación se adoptó de forma definitiva para la ciudad el sistema de corriente continua de tres conductores, sistema que solo hacía un año que había sido inventado y aplicado en los Estados Unidos y Europa.

Por esta época ya aparecen en el embrionario panorama eléctrico español grupos económicos extranjeros que promueven la expansión financiera y técnica de la nueva industria eléctrica. El primer exponente de ello lo tenemos, en el año 1882, con la fundación en Barcelona de la compañía Anglo-Española de Electricidad. En 1890 se instaló también en Barcelona la casa Siemens y Halske, de Berlín. Un año antes, la Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft (AEG), también de Berlín, y el Deutsche Bank habían fundado la Compañía General Madrileña de Electricidad, y en 1894 crearon la Compañía Barcelonesa de Electricidad —que sería de algún modo sucesora de la Sociedad Española de Electricidad—, y la Compañía Sevillana de Electricidad. Así, promovidas usualmente las empresas grandes por constructoras de material eléctri-



14.15. El Electricista: 1) Portada de uno de los dos únicos ejemplares localizados de la primera etapa de esta revista; al parecer iniciada en marzo de 1886, no debió de prolongarse más allá de 1887 o 1888. Era órgano de la Sociedad Anglo-española de Electricidad, que dirigía Jorge St. Noble; 2) Esquema de una instalación de alumbrado, en la revista de 15-XII-1886. La dinamo «Victoria» de Brush, que se comercializaba en España por la Anglo-española, se presenta alimentando una lámpara Edison-Swan mediante un elemento resistivo que permitía variar su luz. Aunque solo figura una lámpara, normalmente la dinamo podía alimentar varias de este tipo (Biblioteca de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona).

co, fueron surgiendo sociedades dedicadas a la tarea de generar y distribuir electricidad, que poblaron el territorio español de instalaciones.

Además, desde los años 1880 y posteriores, muchas fábricas, principalmente textiles que disponían de una turbina hidráulica para mover las máquinas de hilar o de tejer, añadieron un generador eléctrico que les proporcionó electricidad para el alumbrado. Otras, para conseguir el mismo propósito, lo adaptaron a sus máquinas de vapor. En ambos casos el coste de la energía suplementaria gastada era insignificante en términos relativos, y la luz eléctrica permitía que el horario de trabajo fuera más prolongado y daba también mayor seguridad en las operaciones.

VII

LA TECNOLOGÍA ELÉCTRICA DE FINALES DEL SIGLO XIX

En las primeras distribuciones de electricidad se utilizó corriente continua, que era suministrada por una o dos dinamos, según se emplearan dos o tres conductores. Edison fue un ferviente impulsor de este sistema, en el que basó sus primeras redes subterráneas, instaladas en Nueva York y Londres entre 1881 y 1882, con dos conductores. Empleó un nuevo tipo de cable, con el alambre de cobre colocado dentro de un tubo de hierro y separado de este por piezas prefabricadas de cartón, formando un conjunto rígido que se fabricaba en tramos de 20 pies. La tensión de utilización era de 110 V. Dos años después se introduciría el sistema de corriente continua de tres conductores, dos activos y uno neutro, con la misma tensión de 110 V entre conductor activo y neutro y además la de 220 V entre conductores activos. La primera se usaba para las lámparas y la segunda para los motores.

Había un precedente de utilización de corriente alterna por el sistema monofásico. Los primeros cables subterráneos posiblemente fueran los instalados en 1877 en la avenida y plaza de la Ópera de París, destinados a la alimentación de las lámparas *Jablochkoff* empleadas para el alumbrado público. Los conductores estaban recubiertos con un aislamiento de fibra vegetal impregnada, y en 1882 aún se encontraban en perfecto estado. Sin embargo, la distribución en corriente alterna por el sistema trifásico no empezó a proliferar hasta después del ensayo del año 1891, cuando se tendió una línea aérea de 175 km entre una central hidráulica instalada en Lauffen y la población de Fráncfort del Meno, para alimentar la Exposición Internacional de Electricidad.

Hacía unos veinte años que se buscaba la solución al problema de transportar la electricidad a larga distancia con pérdidas mínimas, y este ensayo constituyó un acontecimiento destacado y definitivo. La central, diseñada por AEG y Maschinen-fabrik Oerlikon de Suiza, producía una potencia de 210 kW a 50 V y 40 Hz, y se escogió transportarla mediante una línea eléctrica trifilar de conductor de cobre, previa transformación de la tensión de 50 V a la de 15.000 V entre fase y neutro. En Fráncfort los 15.000 V fueron transformados de nuevo a 50 V y sirvieron para diversas aplicaciones entre las cuales destacaba un circuito de 1.200 lámparas de incandescencia. Los transformadores

trifásicos empleados tenían su parte activa dentro de una cuba de aceite. Con este sistema se obtuvo un rendimiento global del 75 %, lo que demostraba que la combinación de alta tensión y configuración trifásica era la mejor opción para la transmisión de la electricidad a distancia. Este ensayo constituye un ejemplo más del papel relevante que las exposiciones universales y especializadas desempeñaron en la promoción y el desarrollo de la electricidad y su tecnología en todos los campos de actividad: iluminación, fuerza motriz, distribución de electricidad, máquinas eléctricas, telegrafía, telefonía...

En sintonía con otros avances de la ciencia, los sistemas de generación eléctrica aumentaron su potencia unitaria por encima de los 1.000 kW, hasta entonces una especie de límite infranqueable, y con ello la energía eléctrica pudo garantizar una mejor capacidad de distribución y también un menor precio. Quedaba aún mucho por conseguir, entre otras cosas el perfeccionamiento de los aparatos eléctricos, y, por consiguiente, la mayor fiabilidad de los sistemas, que era su punto débil a finales del siglo XIX. Un campo de trabajo importante fue el de los materiales aislantes o dieléctricos, para que pudieran soportar tensiones eléctricas mayores, y en este sentido el ensayo de Fráncfort fue también muy relevante, al igual que los realizados en el mismo año por Siemens Brothers de Londres, con ocasión de otra exposición celebrada en esta ciudad, donde se llegaron a probar materiales dieléctricos que soportaban hasta 45.000 V.

Pieza clave en la difusión de la corriente alterna fue el transformador. Se puede decir que este dispositivo fue inventado por el francés Lucien Gaulard y el inglés John D. Gibbs, quienes en 1882 presentaron un sistema de distribución donde aparecía un aparato, denominado *generador secundario* porque transformaba la corriente alterna de un valor a otro a través de un sistema electromagnético, que permitía la conexión a un único circuito eléctrico de lámparas de incandescencia de diferentes tipos y lámparas de arco, adaptadas cada una a la corriente que necesitaba para funcionar correctamente. La primera instalación de demostración con este aparato se hizo el año 1883 en la Electrical Exhibition del Westminster Aquarium de Londres, y en los años siguientes le siguieron otras, siempre de aplicación práctica.

La máquina de Gaulard y Gibbs se conectaba en serie con el circuito principal, pero en el año 1885 apareció un dispositivo que se conectaba en derivación, al cual se le denominó *transformador*. Había sido diseñado por los ingenieros Károly Zippernowsky, Miksa Déry y Titusz Bláthy, de la empresa constructora de material eléctrico Ganz de Budapest, a partir del análisis y perfeccionamiento del generador secundario de Gaulard y Gibbs. Con el nuevo aparato el anterior quedó desfasado completamente, pues pronto salieron otros similares que se conectaban igualmente en derivación y que solo requerían la tensión primaria constante, muy fácil de obtener.

Con la aparición del transformador, la larga confrontación que mantenían los partidarios de los dos tipos de corriente continua o alterna se volcó definitivamente hacia el lado de la alterna. No obstante, la polémica aún duró unos años, hasta que los partidarios de la corriente continua para la distribución eléctrica reconocieron el otro sistema como el más válido. En el año 1887, Sebastian Zianni de Ferranti proyectó y

realizó una gran instalación en Londres: se trataba de un sistema eléctrico que funcionaba a 10.000 V en corriente alterna monofásica, mediante transformadores de 10.000 a 2.400 V y otro grupo de transformadores de 2.400 a 100 V, siendo esta última la tensión de las lámparas y de los usuarios. El avance más importante fue el cable de 10.000 V que tendió desde la central, situada a las afueras de Londres, hasta el interior de la ciudad, donde quedó instalada la transformación a 2.400 V. A continuación una red de cables distribuía por el barrio la electricidad hasta los pequeños transformadores que daban servicio a los usuarios.

Otro hito a destacar en la evolución de la tecnología eléctrica del siglo XIX fue la construcción de la central de Niágara. Después de cinco años de trabajos, la Cataract Construction Co. ponía en marcha, a finales de agosto de 1896, la primera turbina de la que, en aquel momento, era la central eléctrica más potente del mundo. La instalación hidráulica constaba de un canal de 2 km de longitud y 54 m de ancho, y un salto de 57 m. Empezó con tres turbinas de 5.000 CV, a 250 rpm, construidas por Faech y Piccard de Ginebra y acopladas a alternadores bifásicos Westinghouse Electric and Manufacturing Co. de 5.000 CV y 2.250 V, a una frecuencia de 25 Hz⁹³. La central estaba preparada para albergar diez turbinas, que fueron instaladas gradualmente. Estaba previsto que la electricidad generada fuese utilizada por industrias próximas a la central, que la aprovecharan como componente fundamental en sus procesos, y la primera en hacerlo fue la Pittsburg Reduction Co., dedicada a la obtención de aluminio en hornos eléctricos⁹⁴. Posteriormente, por falta de industrias, se construyó una línea trifásica hasta la ciudad de Búfalo, situada a 58 km de distancia, a 11.000 V y 25 Hz, cuyo primer usuario fue el ferrocarril urbano de la ciudad, que estaba funcionando con electricidad generada por una central térmica. La central de Niágara fue una síntesis de los adelantos producidos en el desarrollo de la tecnología eléctrica americana y europea⁹⁵.

En el año 1898, la Pittsburg Reduction Co. introdujo el aluminio como conductor eléctrico. Se había comprobado que, considerando la resistividad, la densidad y el precio del aluminio en relación con el cobre, los dos materiales eran perfectamente comparables⁹⁶.

Al final del siglo XIX los agentes que habían de posibilitar la utilización de la electricidad estaban suficientemente desarrollados para ser los artífices de su introducción en todos los campos de la sociedad, el comercio y la industria. El motor de inducción y el contador para corriente alterna colaboraron de una forma definitiva. No obstante, la corriente continua se siguió utilizando durante mucho tiempo en aquellos lugares en que ya se había instalado y desarrollado, y en otros todavía se prefirió para la instalación de redes de distribución. Los sistemas de distribución de corriente alterna, monofási-

⁹³ J. PLAYÀ: «La instalación de transmisión de fuerza por la electricidad de las cataratas del Niágara», *Revista Tecnológico-Industrial*, 1895, p. 105.

⁹⁴ *El Porvenir de la Industria*, 1895, p. 393; 1896, p. 404; y 1897, p. 156.

⁹⁵ R. BELFIELD, 1976.

⁹⁶ *Revista Tecnológico-Industrial*, 1898, p. 126.

ca o trifásica, produjeron un avance importante en la utilización de la iluminación eléctrica y también del motor eléctrico de corriente continua para la fuerza motriz.

VIII

ESPAÑA SE ELECTRIFICA

Con el limitado precedente del alumbrado municipal de la Puerta del Sol de Madrid, en 1878, la producción y distribución regulares de electricidad comenzaron en España en 1881, cuando la Sociedad Española de Electricidad instaló en Barcelona su primera fábrica-central, que utilizaba corriente continua. Le siguió en Madrid en 1882 la del Ministerio de la Guerra, y después otra en los Jardines del Buen Retiro, con una potencia instalada de 490 CV. A finales de 1884 la del Ministerio estaba próxima a trasladarse a un nuevo edificio, donde se preveía disponer de 800 CV⁹⁷.

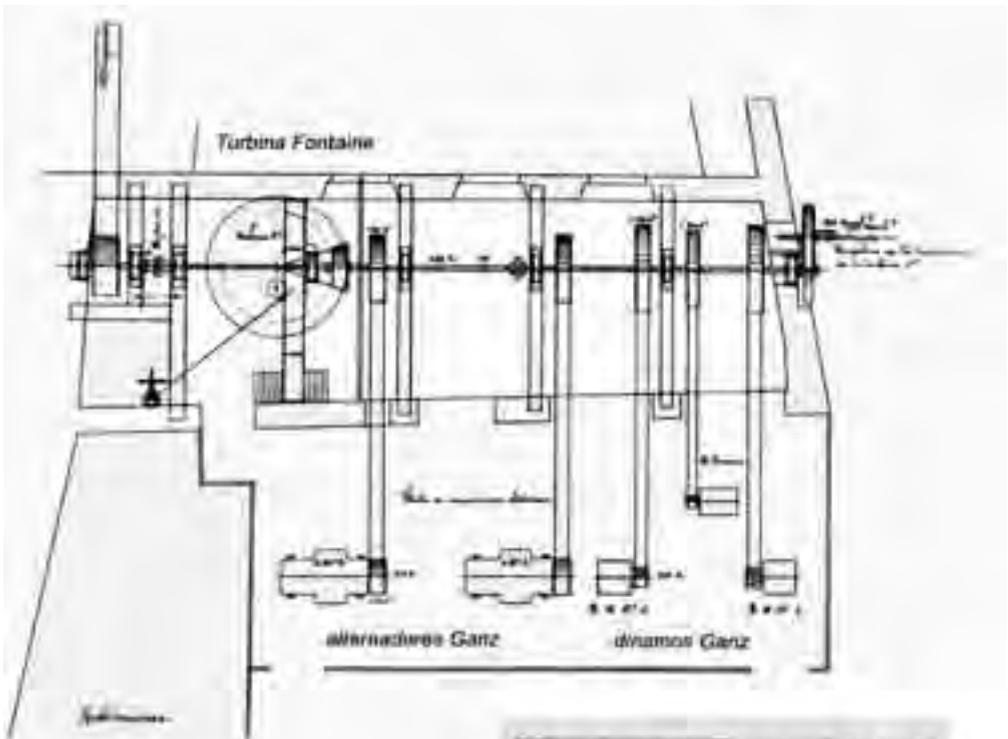
Si en Barcelona, Madrid o posteriormente Valencia se había utilizado la electricidad para alumbrar principalmente establecimientos comerciales, se puede decir que fue en Gerona donde se instaló por primera vez, en el año 1886, una red completa de alumbrado público para toda la ciudad. En junio de 1885 se habían hecho unas pruebas con una máquina *Gramme* L5 de corriente continua y cinco luces de arco, pero la instalación definitiva adoptó el uso de la corriente alterna monofásica. La causa fue que se adjudicó el contrato a Planas, Flaquer y Cía., y al estar en contacto esta empresa gerundense con la casa Ganz & Co. de Budapest, basó el proyecto en el sistema de corriente alterna y su recién inventado transformador, que montó en la ciudad, siendo en aquel momento una novedad en Europa.

Se empezó adecuando el molino para ser también central eléctrica, con la instalación de una nueva turbina *Planas* de 45 CV, que estaba acoplada a dos alternadores *Ganz* de 22 kW y una dinamo *Gramme*. La red de 1.200 V era de dos hilos y tenía conectados cuatro transformadores que rebajaban a 100 V la tensión que alimentaba grupos de lámparas instalados en las calles de la población. La tecnología eléctrica utilizada rompió con los esquemas establecidos hasta aquel momento, que estaban vinculados a un uso mayoritario de la corriente continua, e impulsó el uso del transformador, un aparato que poco tiempo después se haría imprescindible para la distribución de electricidad.

Hay que citar que en vista de las ventajas que aportaba la corriente alterna, a finales del mismo año 1886 Suárez Saavedra propuso también el uso de transformadores en su proyecto de alumbrado de Castellón de la Plana que no llegó a realizarse⁹⁸.

⁹⁷ J. M.^º GARCÍA DE LA INFANTA, 2002, p. 89.

⁹⁸ «Noticias varias», *Industria e Invenciones*, 11-XII-1886, y «El alumbrado eléctrico en Castellón de la Plana», publicado en tres entregas en la misma revista, a principios de 1887.



14.16. Planas, Flaquer y Cía.: 1) La central hidráulica de Gerona: Planta del molino y central eléctrica de la ciudad, donde se dispuso por primera vez en España, en 1886, una red de corriente alterna. El dibujo representa la instalación existente en 1891, con la incorporación de dos dinamos Ganz, junto a dos alternadores que también fueron renovados. Toda la instalación fue realizada por la empresa (J. C. ALAYO, 2008, p. 115); 2) Anuncio de la sociedad en R. YESARES, Anuario de Electricidad, Madrid, 1901. Constituida en 1884, como continuación de otra anterior que inició su andadura en 1857, a partir de aquel momento se dedicó no solo a la construcción de turbinas, que era su principal actividad, sino también a la construcción e instalación de centrales eléctricas. Introdujo la distribución en corriente alterna en España, e influyó en su electrificación con instalaciones de pequeña y mediana potencia.



1878 Madrid	1888 Pontevedra
1881 Barcelona	1889 Zaragoza
1882 Valencia	1889 Salamanca
1882 San Sebastián	1890 Almería
1882 Cádiz	1890 Huesca
1883 Bilbao	1890 Cuenca
1884 Málaga	1890 Coruña
1886 Gerona	1890 Palencia
1887 Burgos	1890 Segovia
1888 León	1890 Sevilla
1888 Pamplona	1890 Toledo

Cuadro 14.2. Capitales provinciales con electricidad en 1890, y año de las primeras instalaciones, permanentes o transitorias.

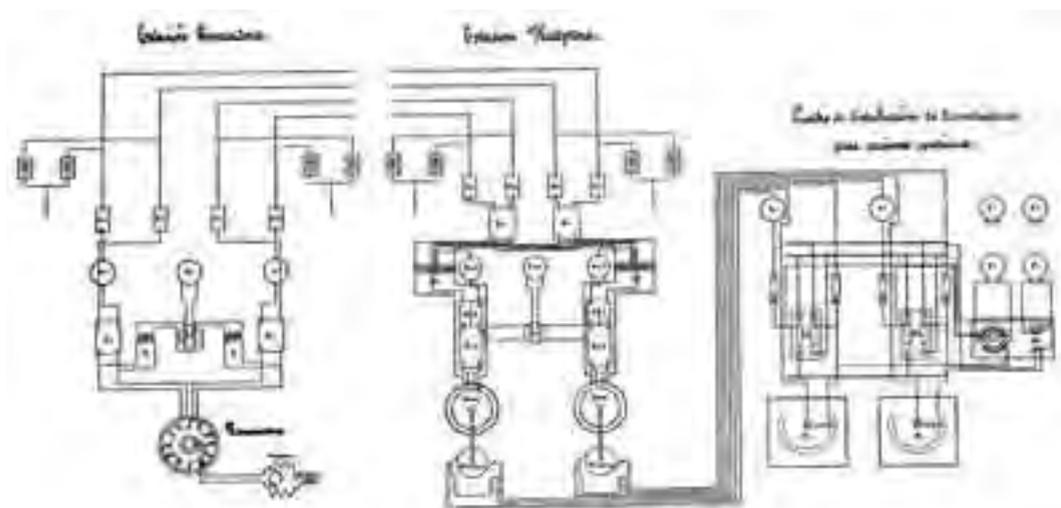
En el año 1889 se constituyen en Madrid dos nuevas empresas. Una es la Compañía General Madrileña de Electricidad, que construirá una gran central de corriente continua de cuatro máquinas capaces de alimentar 20.000 lámparas de 16 bujías cada una, y efectuará la distribución en baja tensión, a 220-110 V. La otra, The Electricity Supply Co. for Spain, Ltd., montará su central en la calle Ramírez de Prado, de Madrid, con seis máquinas capaces de alimentar 4.000 lámparas cada una, y utilizará corriente alterna a media tensión, 2.000 V, transformada a 100 V para los usuarios⁹⁹.

En 1889 también Zaragoza era iluminada por la electricidad. Fue la Compañía Aragonesa de Electricidad la que construyó una central hidráulica en el molino de San Carlos (Casablanca) y una central de vapor en la ciudad. El sistema eléctrico era bifásico en corriente alterna de 2.500 V, con una línea entre el generador del molino y la central de la ciudad. Aquí la corriente alterna se convertía en continua porque un motor a 2.500 V en alterna accionaba directamente una dinamo a 110 V en continua, y era de esta forma como se distribuía a los usuarios¹⁰⁰.

Años después de la primera central, y cuando en muchas de las ciudades españolas ya se había introducido la electricidad con pequeñas centrales, en 1896 se construyeron en Barcelona dos grandes centrales eléctricas, que iban a ser durante muchos años las más importantes de España. Una la montó en la avenida del Paralelo

⁹⁹ J. M.ª GARCÍA DE LA INFANTA, 2002, pp. 102-105.

¹⁰⁰ J. C. ALAYO, 2008, p. 893.



14.17. Esquema de una primitiva instalación eléctrica de Zaragoza: La Naturaleza, 1895. Muestra la realizada en 1889 por la Compañía Aragonesa de Electricidad, con una línea bifásica a cuatro hilos; iba desde el molino de San Carlos (Casablanca) hasta la central de la ciudad, donde dos motores accionaban sendas dinamos y convertían en continua la corriente alterna recibida.

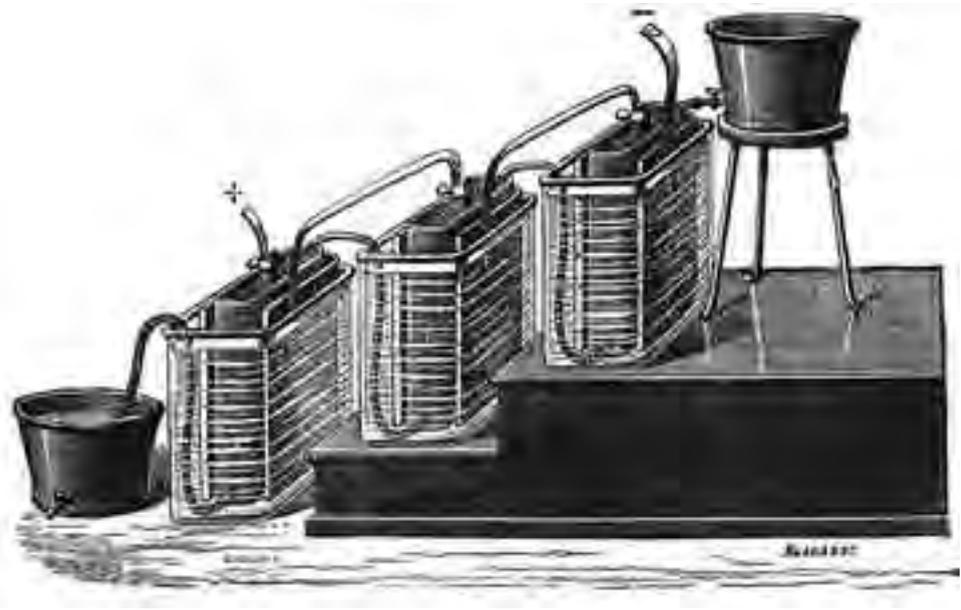
la Compañía Barcelonesa de Electricidad, con cinco dinamos de corriente continua de 750 kW, suministradas y fabricadas por la AEG, unidas directamente a otras cinco máquinas de vapor de 1.000 CV cada una. La otra estaba en la avenida de Vilanova, y fue construida por la Central Catalana de Electricidad, con cinco dinamos de corriente continua de Schuckert & Co., cuatro de 530 kW y una de 300 kW, siendo la potencia total en las máquinas de vapor de 2.800 CV. La central de la Barcelonesa trabajaba con redes a la tensión de 220-110 V y la de la Catalana a 300-150 V. Las dos sociedades entraron enseguida en competencia en la distribución eléctrica de la ciudad, aunque fue la primera la que tuvo mayor relevancia.

Con los años la electricidad se convirtió en una energía casi imprescindible, y su distribución llegó a ser una actividad industrial muy arraigada. Entonces adquirió un gran interés la búsqueda de fuentes de producción de mayor magnitud y de menos coste. Fue el momento en que entró con fuerza para la producción de electricidad el aprovechamiento de la energía hidráulica, que se venía haciendo desde hacía siglos en los molinos y serrerías, y desde tiempos más próximos en las fábricas de río. Precisamente la utilización de la energía eléctrica hizo que, desde los últimos años del siglo XIX, muchas de estas instalaciones combinaran su uso habitual con el de la generación eléctrica, y posteriormente olvidaran su pasado y se convirtieran en centrales hidráulicas.

Por lo que se refiere a motores eléctricos prácticos, puede decirse que su origen se remonta a 1873, cuando —al parecer en la Exposición Universal de Viena— se observó la reversibilidad de los generadores de corriente continua rotatorios que Gramme había expuesto, es decir, que la misma máquina que proporcionaba corriente y potencia eléctrica al hacerla girar podía funcionar al revés, girando y produciendo

do potencia motriz si se le suministraba corriente. Este hallazgo era el motor de corriente continua y supuso el fin de una larga etapa en la cual se inventaron mecanismos rotatorios, todos basados en la atracción magnética, un enfoque con el que nunca se llegó a obtener siquiera un caballo de potencia, iniciado de forma significativa con un experimento de Jacobi en Rusia en 1839. En España el primero de estos artefactos del que se tiene noticia fue el presentado en 1842 por Joan Agell i Torrents a la Academia de Ciencias y Artes de Barcelona¹⁰¹; y un cubano, José Santiago Camacho, alcanzó con sus diseños cierto renombre internacional en la década de los setenta de aquel siglo¹⁰².

Los primitivos motores de corriente continua fueron experimentados, aunque sin demasiada trascendencia, en distintas aplicaciones, una de las cuales era la tracción, pero habría que esperar hasta el año 1879 a que Werner von Siemens aplicara por primera vez la electricidad a un pequeño ferrocarril que se montó en la Exposición Industrial de Berlín. El diminuto tren, compuesto de una máquina y tres vagones-asiento, había si-



14.18. Batería de pilas de dicromato potásico con circulación continua, debida a José Santiago Camacho (1875): *The Engineer*, 22-IX-1876. El inventor cubano patentó y demostró en Francia e Inglaterra esta ingeniosa disposición, destinada a mover pequeños motores. El electrolito circulaba por gravedad por los elementos, mediante tubos de caucho que los unían con un depósito superior y otro inferior, con lo que las pilas tardaban más tiempo en agotarse.

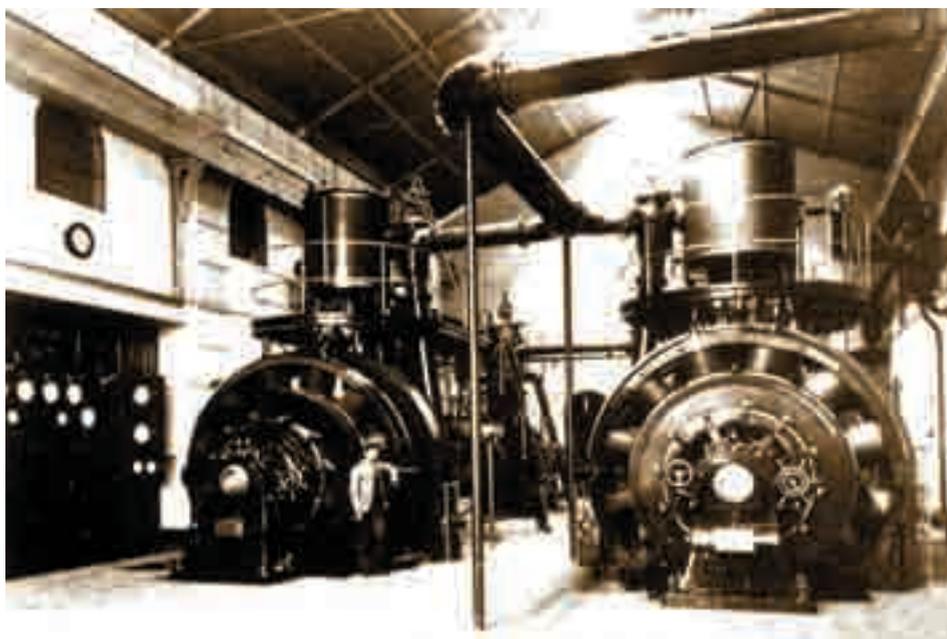
¹⁰¹ J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2006a.

¹⁰² J. SÁNCHEZ MIÑANA, 2010.

do concebido para el transporte de personas y materiales en las minas, donde se preveía una aplicación segura frente a los sistemas tradicionales de tracción de sangre con caballos o mulas, más contaminantes que la electricidad. Funcionaba con corriente continua a 110 V y tomaba la tensión eléctrica de un tercer carril.

La tracción comenzó a abrirse paso entre las aplicaciones eléctricas, y desde 1881, año en que la empresa alemana Siemens & Halske efectuó otra demostración en la Exposición de París, fue incrementándose el número de poblaciones que utilizaban la electricidad para sus tranvías urbanos. En España, en el año 1887, Jorge St. Noble, gerente de la Anglo-Española de Electricidad, propuso que hubiera un tranvía eléctrico de circunvalación en la Exposición Universal de Barcelona de 1888, pero la idea no prosperó¹⁰³. Ya en 1885 se había proyectado electrificar el tranvía de Bilbao a Santurce, y en 1890 se hicieron pruebas con material americano, pero el sistema no funcionó bien y el asunto quedó parado hasta que lo sacó adelante AEG, que en 1896 estableció dos líneas entre dichas poblaciones y otra entre Bilbao y Algorta.

La segunda ciudad en electrificar sus tranvías fue San Sebastián en 1897, seguida de Madrid en 1898 y Barcelona en 1899. Se utilizó corriente continua por la capacidad



14.19. Central de Sevilla: Después de la instalada en Madrid, fue la segunda que construyó en España la empresa Allgemeine Elektrizitäts Gesellschaft (AEG) y se inauguró en 1896 con dos máquinas de vapor de 300 CV cada una (J. C. ALAYO, 2008, p. 895). Las centrales de AEG representaron la introducción de una tecnología renovada respecto de las construidas en la década anterior.

¹⁰³ «Noticias», *El Electricista*, 31-V-1887 (véase fig. 14.15).

de arranque y la fácil regulación de la velocidad del motor, dos características fundamentales de los vehículos eléctricos. La tensión era habitualmente de 500-600 V, un valor no considerado peligroso, y se aplicaba entre el cable aéreo —de donde la tomaba el *trolley* de contacto— y la vía.

En cuanto a ferrocarriles eléctricos, en 1902 funcionó el primero de España, de San Sebastián al monte Ulía. El segundo fue el de San Sebastián a Hernani, en cuyo proyecto de 1894 se cambió en 1901 la tracción de vapor prevista por la eléctrica, poniéndose en servicio en 1903¹⁰⁴. La primera electrificación de un ferrocarril de ancho español se hizo en la línea de Barcelona a Sarrià, en el año 1905.

Otra aplicación destacada de la electricidad en España fue la industria electroquímica, comenzando por la de producción de carburo de calcio, un material entonces muy apreciado, para cuya obtención mediante hornos eléctricos hacía falta una gran cantidad de energía que se podía extraer de la muy barata fuerza hidráulica. Con este objetivo, a finales de siglo XIX se construyó en el término de Corbera de Llobregat (Barcelona) una central dotada de tres turbinas *Planas y Flaquer* de 400 CV, acopladas a otras tantas dinamos, que aprovechaba un caudal de los ríos Llobregat y Anoia; y años más tarde la fábrica textil de Antonio Sedó, situada en Esparraguera (Barcelona), amplió su capacidad instalando nuevas turbinas *Planas y Flaquer*, dos de ellas de 500 CV y una de 1.000 CV. La Sociedad Española de Carburos Metálicos, constituida en 1897, instaló dos años después, en un salto hidráulico del canal industrial de Berga, una central equipada con un grupo de 910 CV, siendo el carburo de calcio el principal producto fabricado¹⁰⁵.

La empresa Electroquímica de Flix construyó en el año 1899 una central eléctrica con turbinas de *Voith & Co.*, conectadas con dinamos de corriente continua *Schuckert & Co.* Con una potencia total instalada de 1.750 CV, fue la mayor central hidroeléctrica de su tiempo, y la energía eléctrica que producía se destinaba íntegramente a la electrolisis de productos derivados del cloro.

Aprovechar el uso de la energía hidroeléctrica para fabricar productos químicos fue, pues, una de las primeras ideas que se pusieron en práctica. Los productos obtenidos tenían un fuerte contenido energético y después se llevarían a las ciudades, como se hacía con el carbón. Era un antecedente del transporte eléctrico a distancia, solo que en este caso lo transportado era un producto transformado por la electricidad.

La primera estadística oficial, publicada en 1901 por el entonces Ministerio de Agricultura, Industria, Comercio y Obras Públicas, consigna 859 centrales existentes en aquel momento, de las cuales 648 eran de servicio público y 211 de uso particular; 257 estaban movidas por vapor, 427 por fuerzas hidráulicas, 63 por motores de gas y el resto por fuerza motriz mixta. La potencia de la mayoría de las centrales era menor de 100 kW y solo una superaba los 5.000 kW, precisamente una de las dos que había en Barcelona.

¹⁰⁴J. OLAIZOLA, 2003, pp. 56 y 68.

¹⁰⁵J. C. ALAYO, 2008, p. 235.

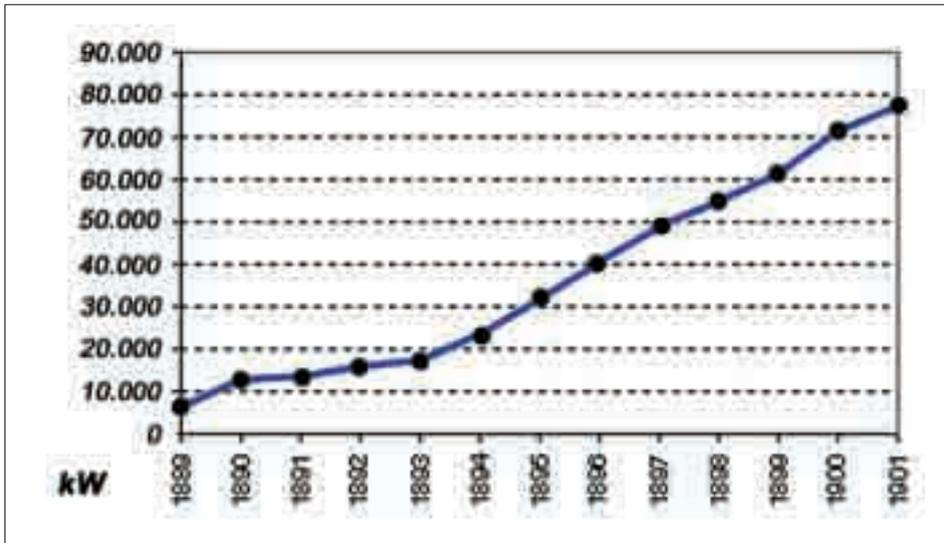
Menos de 100	695
De 100 a 250	104
De 250 a 500	35
De 500 a 1.000	20
De 1.000 a 2.500	4
De 2.500 a 5.000	2
Más de 5.000	1

Cuadro 14.3. Centrales eléctricas en funcionamiento en España, en 1901.

Desde el inicio de su aplicación industrial en España en 1875, la electricidad había avanzado considerablemente, como también su tecnología, y a principios del siglo xx estaba extendida por toda la Península y casi todas las poblaciones importantes tenía alumbrado eléctrico. Se usaba corriente continua o alterna, según se hubiese contratado con empresas constructoras proclives a uno u otro sistema, pero el incremento de usuarios provocó la necesidad de proveer mayor cantidad de energía, y los costes de generación encaminaron paulatinamente las nuevas construcciones hacia la opción hidráulica, lo que hizo que se desarrollaran los primeros proyectos de la red de alta tensión peninsular. Los dos que se indican a continuación fueron los primeros de comienzos del siglo, y con sus líneas de transporte aportaron mucha más energía eléctrica a ciudades que hacía años ya disponían de la de origen térmico.

La sociedad Electra Irati, de Pamplona, construyó en 1901 un salto de 40 m situado en Oroz-Betelú, por el cual obtenía una potencia de 450 CV que transportaba a la capital navarra mediante una línea de 20.000 V de corriente alterna trifásica que conectaba con una fábrica de papel y también con la central eléctrica de la ciudad. Aquí habían instalado un motor de 180 CV que daba movimiento a las dinamos de corriente continua de la red de distribución. De esta forma la corriente alterna servía para transportar la electricidad y después se transformaba en continua, ya que Pamplona hacía años que disponía de electricidad con este sistema.

En el año 1902 quedó instalada la primera central del Freser, en la provincia de Barcelona, construida con una tecnología hidráulica poco habitual hasta entonces. A causa de la gran altura del salto, más de 400 m, el proyecto de aprovechamiento fue dividido en dos partes, con sendas centrales, Freser Superior y Freser Inferior, pues con la tecnología mecánica del momento no estaba claro que, si únicamente se construía Freser Inferior, no pudieran aparecer problemas de presiones elevadas en las turbinas, o en las tuberías, y destruirse estas por sobreesfuerzos mecánicos. La primera en montarse fue, obviamente, la Superior, que tenía dos grupos *Pelton* de 1.150 CV cada uno, que en aquel momento eran los más potentes de Cataluña y de España. La



Cuadro 14.4. Evolución de la potencia instalada en centrales eléctricas en España.

central generaba corriente alterna y conectaba con una línea de 20.000 V, de 57 km de longitud, que iba a la población de Vic, la ciudad importante más próxima, donde se podía vender la energía producida.

Ambas fueron instalaciones realizadas con una nueva visión de la electrificación. No estaban cerca de ninguna población, ni satisfacían una demanda concreta: se habían montado para aprovechar el potencial hidráulico de los ríos Irati y Freser, con una nueva tecnología que iniciaba su andadura hacia el gran desarrollo que la electricidad de origen hidráulico tendría en España en el siglo xx.

IX

CONCLUSIÓN

El estudio de la introducción de la técnica eléctrica en el siglo xix español pone de manifiesto la actuación nada desdeñable de individualidades innovadoras, pertenecientes a profesiones que, como la medicina, la farmacia o las facultativas del Ejército, estaban bien provistas de personas capaces de seguir los avances de las ciencias.

Si bien los españoles no contribuyeron al progreso de la ciencia eléctrica, la rápida importación de las aplicaciones de la electricidad que protagonizaron fue tan importante como en otros países. De haber existido una cultura industrial, es verosímil que la técnica eléctrica se hubiese desarrollado significativamente, quizás como en Francia, aunque, como sucedió, hubiera acabado por sucumbir ante la imparable competencia de la industria alemana.

Los técnicos eléctricos españoles no deben ser vistos con menor capacidad que sus homólogos alemanes o franceses, y el retraso industrial en este sector no fue tan grave como en otros por la sencilla razón de que el impulso partió desde dentro del país, con gran acierto técnico, aunque con menor acierto financiero. Casi se puede decir que la primera empresa eléctrica española, la Sociedad Española de Electricidad, pese a encontrarse entre las seis primeras del mundo, nació antes de tiempo. Y se agotó porque, además de encontrar un ambiente económico poco favorable, no supo o no pudo arrastrar al consumidor al uso de la iluminación eléctrica, y tuvo que competir con el gas, un negocio estable y sobre todo muy celoso de los privilegios que disfrutaba por haberse establecido primero. Por otra parte, el caso de Gerona, que pasa por ser una de las primeras ciudades de Europa donde se utilizó la corriente alterna, puede ser un buen ejemplo de la capacidad que hubo en España para adoptar la tecnología eléctrica.

Dejando a un lado las telecomunicaciones, la utilización de la electricidad se hizo económicamente significativa en la última década del siglo XIX, cuando la luz eléctrica pudo competir seriamente con la de gas, y los motores eléctricos comenzaron a resultar imprescindibles en la industria. Ambas aplicaciones fueron tomando su propio espacio, hasta que entrado el siglo siguiente llegaron a ser la única alternativa. En lo que precede se ha pretendido describir a grandes rasgos un período en el que la electricidad hizo la siembra que daría sus frutos con la electrificación más generalizada: una nueva etapa, ya en el siglo XX, con otra interesante historia que relatar.

Agradecimiento. Los autores expresan su reconocimiento a Carlos Sánchez Ruiz y Salvador Tió i Sauleda por la ayuda recibida, incluidos datos inéditos, para tratar en este trabajo de los electricistas Bonnet y Paulí, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

- ALARCÓN DE PORRAS, Francisca: *Historia de la electricidad en Málaga*, Málaga, Sarriá, 2000.
- ALAYO, Joan Carles: «La electricidad en España antes de 1900», *Electra*, n.º 70 (1995), pp. 3-8.
- «La tecnología elèctrica abans de l'any 1881», en *Actes del Simpòsium Internacional d'Història de l'Enginyeria*, Barcelona, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona / UPC, 2000a.
- *La introducció del gas i l'electricitat a Sabadell, 1852-1930*, Sabadell, Fundació Bosch: Cardellach, 2000b.
- *L'electricitat a Catalunya. 1875-1935*, Lérida, Pagès, 2008.
- ALCAIDE, Julio et al.: *Compañía Sevillana de Electricidad: cien años de historia*, Sevilla, Fundación Sevillana de Electricidad, 1994.
- ANÓNIMO: *1882-1895: Luz eléctrica en Irún*, Irún, Casino de Irún, 1995.

- BELFIELD, Robert: «The Niagara System», *Proceedings of the IEEE*, vol. 64 (1976), Nueva York, p. 1.344.
- FIERRO CUBIELLA, Juan Antonio: *La electricidad en la ciudad de Cádiz: apuntes para su historia (1862-2008)*, Cádiz, ed. del autor, 2008.
- GARCÍA DE LA INFANTA, José María: *Primeros pasos de la luz eléctrica en Madrid*, Madrid, Unión Fenosa, 2002.
- GONZÁLEZ ECHEGARAY, Rafael: *Tres chispazos de historia*, Santander, Electra de Viesgo, 75 aniversario, 1982.
- LUSA, Guillermo: «La Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona y la introducción de la electricidad industrial en España (1872-1879)», en *Actes de la VII Trobada d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 2003, pp. 373-384.
- MADRID, Rufino-Manuel: *Vencer la noche: la Sevilla iluminada*, Sevilla, Universidad, 2007.
- MALUQUER DE MOTES, Jordi: «Los pioneros de la segunda revolución industrial en España: la Sociedad Española de Electricidad (1881-1894)», *Revista de Historia Industrial*, n.º 2 (1992), pp. 121-142.
- OLAIZOLA, Juanjo: *100 años de tracción eléctrica en los ferrocarriles de Euskadi*, Bilbao, Euskotren, 2003.
- RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, Agustín Ramón: *Isaac Peral: historia de una frustración*, Barcaldo, Grafite, 2007.
- SÁNCHEZ MIÑANA, Jesús: «Las primeras aplicaciones de la electricidad en Barcelona en torno a 1850», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. VII (2006a), pp. 115-195.
- «Nuevos datos sobre los telégrafos eléctricos de los relojeros valencianos (1849)», en J. A. Pérez Bustamante *et al.* (coords.): *Actas del IX Congreso de la Sociedad Española de Historia de las Ciencias y de las Técnicas*, Cádiz, SEHCYT, 2006b, t. I, pp. 563-577.
- *El telegrafista murciano Enrique Bonnet (1837-1905): un pionero de las telecomunicaciones en España*, Murcia, Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación de la Región de Murcia, 2007.
- «Los inventos de José Santiago Camacho (1846-1878): noticia de un electricista olvidado», *Quaderns d'Història de l'Enginyeria*, vol. XI (2010), pp. 221-239.
- y Guillermo LUSA MONFORTE: «De músico a óptico: los orígenes de Francesc Dalmau i Faura, pionero de la luz eléctrica y el teléfono en España», *Actas d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, nova época, vol. 2 (2) (2009), pp. 87-96.
- TIÓ I SAULEDA, Salvador: *Ferran i Paulí: la instantaneidad en fotografia*, Barcelona, Càtedra Unesco de Tècnica i Cultura, Universitat Politècnica de Catalunya, 2007.
- TURINA GÓMEZ, Joaquín: *Historia del Teatro Real*, Madrid, Alianza Editorial, 1997.

La construcción de los espacios industriales: el caso de Barcelona

Mercedes Tatjer
Universidad de Barcelona

Uno de los efectos territoriales de la primera y de la segunda revolución industrial fue la creación de nuevos espacios fabriles, que presentan tipologías y características diversas en relación con el tipo de producción y la escala a la que esta se realiza. En las últimas décadas numerosos trabajos han analizado y destacado en especial las obras diseñadas por significados arquitectos, pero a menudo no han considerado suficientemente la intervención de otros profesionales, como los ingenieros industriales, quienes junto con los de caminos y los arquitectos desempeñaron un decisivo papel en la configuración de dichos espacios. En lo que sigue, la reflexión se limita a la ciudad de Barcelona y su entorno decimonónico.

Si los arquitectos y los maestros de obras fueron los artífices de la parte más visible de este paisaje, no debemos olvidar que los técnicos formados en la Escuela Industrial Barcelonesa, posteriormente Escuela de Ingenieros Industriales, serían mayoritariamente los autores del paisaje interior de las fábricas. Estos profesionales, de acuerdo con las necesidades productivas de los diferentes sectores fabriles, realizaron una ingente labor de innovación técnica, organizativa y de gestión que sería básica para el desarrollo de la Barcelona de la primera y la segunda revolución industrial. Más allá de las paredes de las fábricas, su trabajo se extendió a otros campos empresariales, técnicos, científicos y culturales. Por ello a fines del siglo XIX alcanzaron un reconocimiento social tan destacado y visible como el de los propios espacios funcionales y productivos que organizaron.

En este texto presentamos la actuación de los ingenieros desde una óptica hasta ahora poco tratada. Nos centraremos, sobre todo, en uno de los elementos clave del paisaje industrial, la fábrica, dejando a un lado otros, en especial la vivienda popular y obrera y los espacios de sociabilidad, que últimamente están recibiendo mayor atención de los investigadores. Utilizaremos nuestros propios estudios acerca del patrimonio industrial y aportaremos datos sobre aspectos energéticos, productivos y técnicos, en los que los ingenieros industriales tuvieron un especial protagonismo.

I

FÁBRICAS, REDES TERRITORIALES Y PAISAJE

A lo largo de casi dos siglos Barcelona fue una «gran fábrica», y todavía hoy puede reconocerse en su paisaje el impacto de la industrialización, de la que son hitos significativos los conjuntos fabriles conservados.

I.1. *El paisaje industrial*

Durante los siglos XIX y XX la fábrica se proyectó sobre el territorio de Barcelona, en cuyo entorno se organizaron muchos espacios que de otro modo seguramente nunca hubiesen aparecido. En la Ciutat Vella y en los pueblos de su Llano, e incluso en el Ensanche, la industria, tal como se ha señalado, tuvo un papel catalizador en la forja de una imagen propia¹.

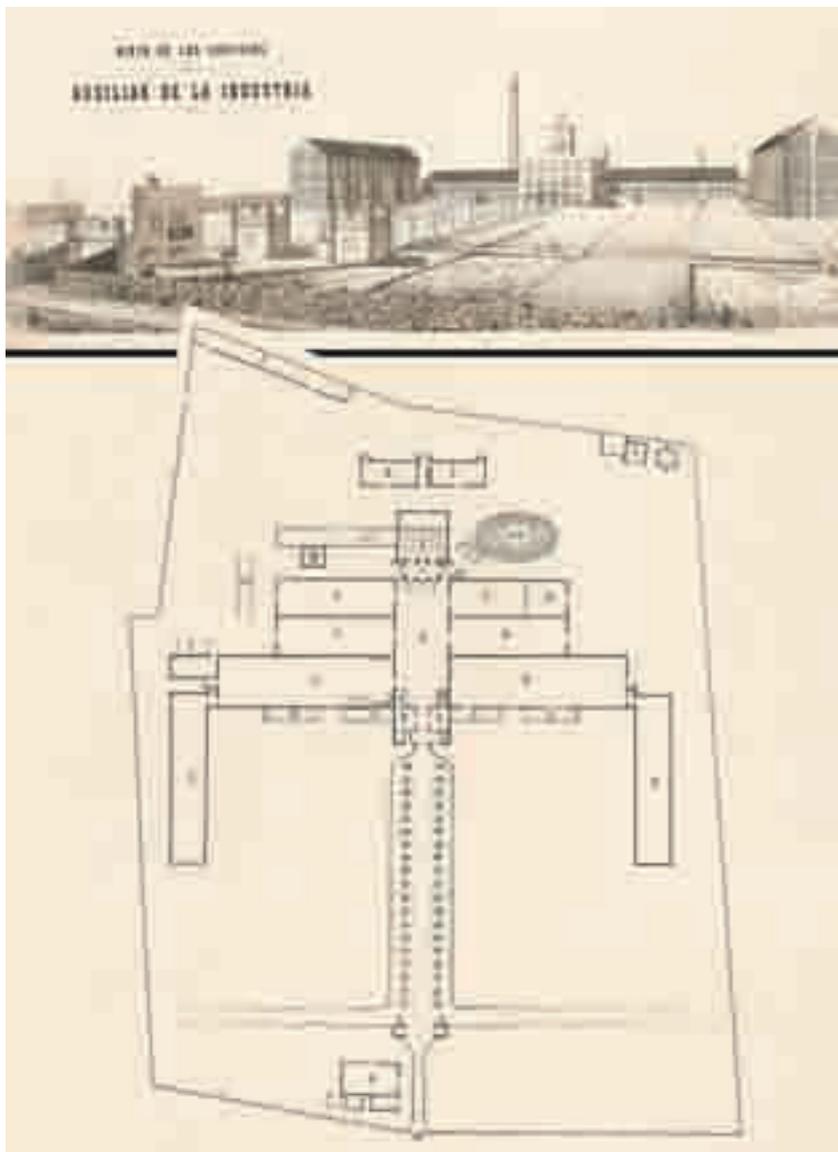
En 1857 Víctor Balaguer, que tenía una optimista visión del progreso industrial de ciudades como Reus y Sabadell, pero aplicable también a los barrios fabriles de Barcelona, consideraba la industria como «esa hada de mágica varita que levanta palacios en los yermos y que puebla de monumentos y obeliscos las villas»², refiriéndose claramente a las fábricas y chimeneas.

Las fábricas del siglo XIX generaron redes territoriales vinculadas a los procesos productivos que modelaron fuertemente el paisaje (infraestructuras de transporte, almacenamiento, aprovisionamiento de agua y fuentes de energía, entre otras). Además, se convirtieron en colonizadoras del territorio debido a la creación de conjuntos de viviendas para alojar a la población trabajadora, a la organización de actividades formativas (escuelas de artes y oficios, escuelas nocturnas) y asistenciales (casas cuna para atender a los hijos de las madres obreras) para la clase obrera y a la fundación, a partir de la iniciativa de los propios trabajadores, de centros de ayuda mutua, cultura y ocio (cooperativas, ateneos o corales), así como de asociaciones y sindicatos.

El espacio fabril fue, al mismo tiempo, un entorno polivalente de aplicación técnica y productiva y de aprendizaje de oficios, sin olvidar su papel como escenario de relación y de sociabilidad obrera (adoctrinamiento, difusión de ideas políticas y de comportamientos sociales); también, de alguna forma, se convirtió en un espacio de confluencia y de coincidencia laboral interclasista. Entre los muros de las fábricas, y a lo largo de los dos últimos siglos, una amplia nómina de ingenieros desarrolló una destacada actividad profesional ligada a la innovación técnica y productiva.

¹ Son numerosos los trabajos sobre el impacto territorial de la industria en las diferentes áreas de Barcelona. Entre los que han mostrado de una manera más clara las relaciones entre la industria y el territorio señalamos los de A. CAMPOS y J. R. PASTOR, 1982, y M. TATJER, 2000. Trabajo más reciente es M. TATJER, 2009.

² V. BALAGUER, 1857, p. 38.



15.1. La Auxiliar de la Industria. Vista general y planta del conjunto: Gran complejo fabril de gusto neoclásico proyectado por el arquitecto José Oriol Mestres y Esplugas entre 1853 y 1855. Situado en la Marina de Sants, al pie de Montjuïc y cerca del canal de la Infanta, albergó una fábrica textil de ciclo completo que funcionaba con una gran máquina de vapor y contaba con secciones de blanqueo, tintorería, apresto y acabado. Era propiedad de la Auxiliar de la Industria, sociedad por acciones constituida en 1853 con un capital de 6 millones de reales, y se mantuvo en producción hasta 1870. Posteriormente ese espacio fue ocupado por la fábrica de galvanizados Ferrero. En la actualidad queda el edificio de oficinas, convertido en centro cívico.

1) Dibujo ilustrativo del conjunto, que ocupaba 47.985 m²; 2) Planta del mismo, firmado por José Oriol Mestres el 28 de abril de 1869. (AHCB, Fondo gráfico, n.ºs 5.659 y 5.660).

Todos estos elementos, junto con las instalaciones productivas (grandes recintos fabriles, edificios industriales, naves y un amplio tejido industrial de menores dimensiones), han caracterizado los barrios industriales y obreros de la Barcelona de los dos últimos siglos. Parte de ellos llegaron casi intactos hasta bien entrada la década de 1970, pero fueron desapareciendo, primero lentamente y luego de forma rápida, en los años finales del siglo xx.

Este complejo paisaje fabril constituye el patrimonio industrial de la ciudad y es un verdadero legado cultural que se ha de preservar y conservar, no solamente por su significado arquitectónico, sino también por su valor tecnológico.

1.2. Permanencia y transformación de los espacios fabriles

Una de las principales características del paisaje industrial barcelonés es, tal como se ha apuntado, su permanencia hasta mediados del siglo pasado. Dicha permanencia ha sido especialmente larga y visible en el Poblenou, distrito industrial que ha conservado casi intactas hasta los últimos años del xx buena parte de sus antiguas instalaciones, de las que aún se encuentran restos notables. Además del Poblenou, casi toda Barcelona mantuvo, con mayor o menor intensidad, el paisaje fabril, reflejo espacial de la función industrial que la había convertido en «la gran fábrica de España»³.

La razón de esta permanencia y esta perdurabilidad paisajística tiene explicaciones de diverso carácter, como, sobre todo, la propia estructura productiva y empresarial de la zona, con predominio de pequeñas y medianas empresas de tipo familiar que tienden al mantenimiento y a la transmisión patrimonial del negocio o, por lo menos, a la conservación de la propiedad de los espacios industriales; en otros casos son de carácter societario, resultado de un tupido entramado accionarial que, finalmente, lleva a la preservación de los edificios. Tampoco debe olvidarse la situación de autarquía económica tras la Guerra Civil, primero, y el fuerte desarrollo de la década de 1960, después, con un mercado no completamente internacionalizado. Todo ello fomentó la creación de pequeñas industrias en una gran diversidad de sectores, que a menudo se ubicaron en instalaciones ya existentes, las cuales actuarían en muchos casos, gracias a la flexibilidad del espacio fabril, como auténticos viveros de empresas.

De este modo, numerosas antiguas fábricas de la ciudad de Barcelona han conocido varias revoluciones industriales y han llegado a contener —como en el caso de las de la Ciutat Vella— tres o cuatro generaciones de industrias: desde las del sector textil y el mecanometalúrgico a mediados del siglo xix, pasando por las de las transformaciones mecánicas y todo el abanico de bienes de consumo a lo largo del siglo siguiente, hasta las de nuevas actividades relacionadas con el arte, el diseño y las artes gráficas a finales del xx.

Debe advertirse que la permanencia de los edificios y de los paisajes industriales no implica, en muchos casos, una situación estática de su morfología interior y exte-

³ Esta expresión retoma y concreta en Barcelona la acuñada por J. NADAL, 1985; véase también M. TATJER, 2000, p. 154.

rior, ni tampoco de sus actividades. A lo largo de los doscientos años de industrialización barcelonesa muchas zonas han sufrido transformaciones puntuales o de carácter más amplio (aumento de plantas, ocupación de los espacios libres, subdivisión de naves, reforma de fachadas) para adaptarse a las nuevas fuentes de energía o a las tecnologías y los procesos productivos desarrollados a raíz de las sustituciones de empresas, debido al cambio de titularidad o de actividad. Otras fábricas, una vez desaparecida la función industrial, se convertirían en viviendas o en equipamientos. Su derribo para construir viviendas ha sido, sin ninguna duda, una constante desde el final del siglo XIX, cuando muchas empresas dejaron la Ciutat Vella para marchar a ubicaciones más adecuadas de las afueras. Del mismo modo, desde la década de 1950 en Les Corts y en las partes más centrales del Ensanche se produjo una temprana desaparición de fábricas y la transformación de los antiguos espacios industriales del siglo XIX en residenciales y terciarios (parques, jardines, oficinas), camino que poco a poco siguieron en buena parte otros espacios similares del resto de la ciudad⁴.

Antes de comenzar la presentación de los diferentes tipos de espacios productivos es importante referirse brevemente a cómo se iniciaron su proyectación, su estudio y su posterior valoración. Las nuevas necesidades productivas obligaron a diseñar, con la intervención de arquitectos y maestros de obras, pero también de ingenieros, conjuntos arquitectónicos acordes con las innovaciones técnicas y energéticas aplicadas.

II

LA FÁBRICA COMO OBJETO DE PROYECTACIÓN Y DE ESTUDIO

La preocupación por la arquitectura industrial se trasladó bien pronto a las enseñanzas técnicas. Hacia 1830, y en relación con la implantación de la máquina de vapor, la docencia impartida en las escuelas de Arquitectura y de Maestros de Obras a cargo de la Junta de Comercio empezaría a introducir temas relacionados con la construcción de edificios industriales, así como a plantearse la adecuación de dichos edificios para la instalación de vapores. Algunos de los profesores de estas escuelas intervinieron en la redacción del edicto municipal del 10 de abril de 1846 para la regulación del establecimiento de vapores, calderas y chimeneas. De todas maneras, no será hasta la segunda mitad del Ochocientos cuando la arquitectura industrial se convierta paulatinamente en una materia de enseñanza para maestros de obras, arquitectos e ingenieros⁵.

⁴ M. TATJER, A. VILANOVA e Y. INSA, 2005. Checa ha estudiado ampliamente los cambios de uso de los recintos fabriles barceloneses; entre sus numerosos trabajos destacamos M. CHECA, 2003.

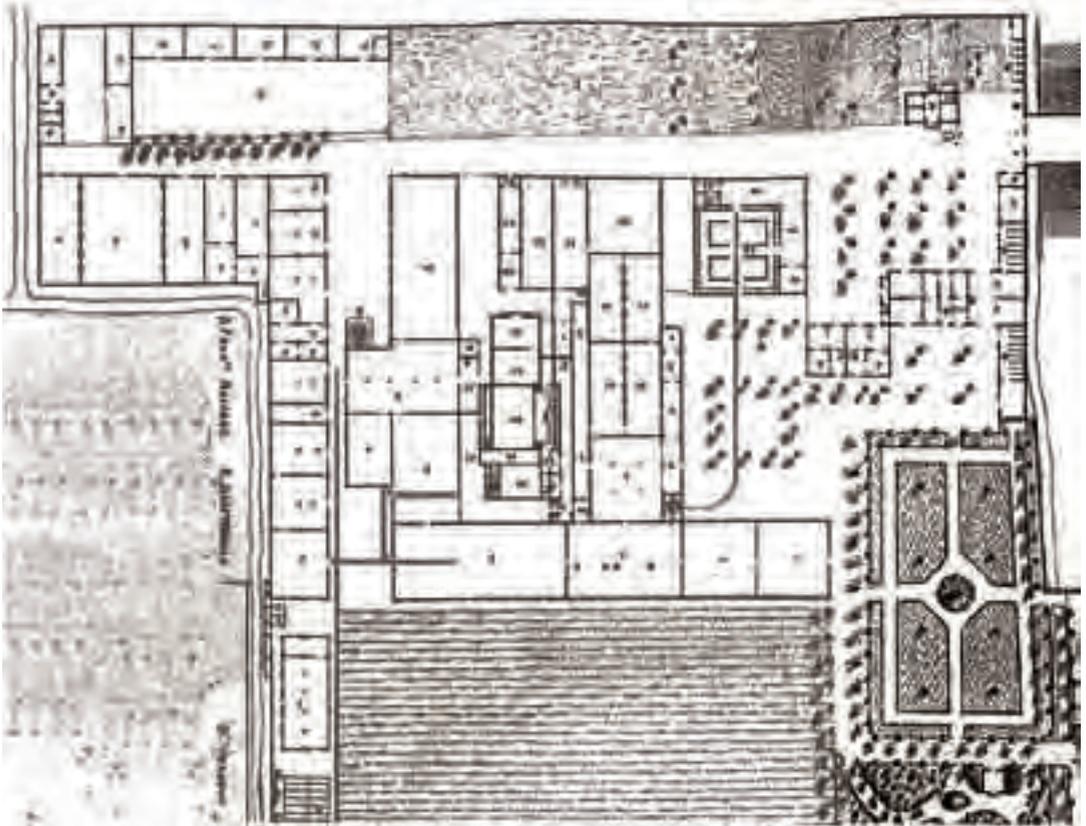
⁵ J. ARTIGUES y F. MAS, 2005, vol. II, pp. 91 y ss. Es interesante también consultar los inventarios de proyectos de reválida de la Escuela de Maestros de Obras, Agrimensores y Aparejadores de la década de 1860-1870, así como las consideraciones sobre la enseñanza de la construcción de edificios industriales, en J. M.^a MONTANER, 1983, pp. 77-107, donde aparecen varios proyectos de reválida sobre este tipo de edificios (fábricas de harinas, de tejidos...).

15.2. Can Ricart: Conjunto fabril de carácter neoclásico proyectado por el arquitecto José Oriol Bernadet en 1853 y completado por José Fontseré entre 1860 y 1878. Especializada en la estampación de tejidos de algodón, fue una de las primeras grandes instalaciones textiles del Poblenou y de Barcelona. Afortunadamente, nos ha llegado completa y, tras una intensa reivindicación académica y vecinal, ha sido catalogada como bien cultural de interés nacional por la Generalitat de Cataluña. El dibujo superior, realizado por Antonio Castelhucho en 1888, se publicó en La Exposición el 3 de mayo de 1887.

Abajo, girado 180° para lectura en correspondencia con el dibujo, Plano general de la fábrica de estampados de los señores Ricart y Compañía (José Fontseré y Mestres, 1877; lamentablemente, no nos ha sido posible identificar todos los símbolos alfanuméricos), que muestra la estructura productiva, en la que se realizaba el ciclo completo de la estampación con máquinas de vapor construidas por La Maquinista Terrestre y Marítima. Ocupaba una superficie total de 39.750 m², de los cuales 16.700 eran jardines y paseos, 8.500 estaban ocupados por el prado para tender las piezas y el resto eran edificios destinados a los diferentes procesos. En 1884 contaba con unos 200 trabajadores y producía 6 millones de metros lineales de tela estampada de algodón. El director técnico era el ingeniero químico Francisco Maymir, con la participación directa del propietario, Federico Ricart y Córdoba, también ingeniero químico.

La producción estaba organizada en varias secciones. Una era la sección de blanqueo, con una máquina Corliss de 40 caballos; en ella las telas se sumergían sucesivamente en balsas de baños ácidos y alcalinos. Previamente se producía la quema de la borra o pelusa del tejido. Tras el blanqueo se realizaba el secado en bombos giratorios de cobre, para lo que se contaba con 2 calderas de 35 caballos. La tercera sección era la de estampado. Se ubicaba en el cuerpo central con seis grandes máquinas de pintar o estampar (dos de 6 colores y una de 1, otra de 3, otra de 4 y otra de 8 colores). En ella había dos máquinas compound de vapor de 100 caballos cada una. Esta sección se completaba con la de tendedores cerrados y oscuros que disponían de cámaras de oxidación húmeda y seca, donde las piezas permanecían entre 12 y 48 horas con humedad y calor de fuego directo o vapor. Le seguía la sección de grancería, conocida como de agua (en catalán, ram de l'aigua), donde se fijaban los colores y se aclaraban, lavaban, picaban y escurrián las piezas de tela, que podían secarse en tendedores al aire libre o en edificios ventilados con grandes aberturas y con persianas que protegían del sol. Finalmente, la sección de apresto estaba dotada con máquinas tipo Rame que realizaban el acabado. En ella figuraban varias pequeñas calderas de 2 o 3 caballos. Contaba también con máquinas de doblar y medir las piezas y dos grandes prensas hidráulicas, una de fabricación inglesa y otra construida por los barceloneses talleres de fundición Domènech.

La fábrica disponía de un magnífico departamento de 6 generadores de vapor que mediante conducciones subterráneas de humos se comunicaban con la gran chimenea del recinto. Finalmente destacaba un taller de grabado de 600 m² donde se fabricaban los cilindros de cobre con los dibujos a estampar (se realizaban con punzón de acero o con un pequeño cilindro denominado moleta). La fábrica contaba con una sección de dibujo y un depósito de 2.200 cilindros de estampar. El resto de las edificaciones eran almacenes de productos químicos (cloro y drogas...), depósito de carbón, talleres de cerrajería y carpintería, portería, báscula y despachos y viviendas del director y del con-tramaestre, entre otros.



El interés por la fábrica como objeto construido y elemento básico del paisaje urbano se expresó desde finales del siglo XIX, y de una forma muy clara en las primeras décadas del XX. Algunos profesionales de la arquitectura empezaron a prestar atención a las técnicas constructivas aplicadas en determinadas grandes fábricas que habían sido edificadas a partir de la segunda mitad del XIX más allá de las antiguas murallas de Barcelona. Hay que citar, de fines del Ochocientos, los trabajos y las aportaciones constructivas a las cubiertas y estructuras de hierro del ingeniero Joaquín Arajol y el arquitecto Juan Torras Guardiola.

Debe recordarse que Joaquín Arajol y Mentrut, ingeniero industrial y propietario de una empresa de calderería y construcciones metálicas en el Poble Nou, introdujo las armaduras metálicas con iluminación septentrional en varias fábricas. En el Congreso de Ingeniería celebrado durante la Exposición Universal de Barcelona de 1888 polemizó con Torras Guardiola sobre el valor y el uso de los diferentes tipos de cubierta metálica. También patentó algunas otras innovaciones técnicas (por ejemplo, un indicador de nivel de agua en los generadores de vapor) y difundió su tipología de cubierta en varias publicaciones de la época⁶. Por su parte, Juan Torras Guardiola (1827-1910), fundador de la primera acerería catalana del siglo XIX, Torras Herrerías y Construcciones, fue calculista y constructor de grandes estructuras metálicas de edificios públicos y de fábricas, así como del famoso andamiaje para el monumento a Cristóbal Colón. Fue catedrático de la Escuela de Arquitectura y autor de un interesante texto sobre la arquitectura del hierro y las diferentes tipologías de cubiertas metálicas, a la vez que defensor del uso del hierro en las cubiertas de las construcciones en general y de las industriales en particular⁷.

En el primer tercio del siglo XX se ha de destacar, en especial, el trabajo del arquitecto Jerónimo Martorell, que reflexionó sobre la aplicación de la *volta catalana* y de la arquitectura de hierro en varias fábricas barcelonesas (como los talleres de Joan Torras, Chamón y Triana, y J. O. Canals)⁸, la mayoría de ellas, lamentablemente, desaparecidas. Tampoco han de olvidarse las aportaciones del arquitecto e ingeniero Félix Cardellach y Alives, catedrático de Estereotomía y de Mecánica de la Construcción y Arquitectura Industrial, ni sus interesantes reflexiones sobre la relación entre formas artísticas y arquitectura industrial⁹.

⁶ Cf. A. FELIU y F. CABANA, 1987, pp. 72-76, y J. ARAJOL, 1888.

⁷ J. TORRAS, 1888, 1898 y 1900. Este arquitecto cursó también asignaturas de ingeniería y por sus importantes aportaciones al uso de las estructuras de hierro fue considerado *el Eiffel catalán*.

⁸ J. MARTORELL, 1910.

⁹ F. CARDELLACH, 1916; ed. facs. de 2007. En su día este trabajo fue reeditado hasta cuatro veces, y traducido al francés por L. JAUSSELY, según señala J. BASSEGODA, 1980, p. 151. La figura de Cardellach y su obra han sido estudiadas por I. AGUILAR, 1998, pp. 90-96. Referencias a su amplia bibliografía, en M. DE FORONDA, 1948, pp. 136-139.

Estos y otros estudios contribuyeron a que se hiciera una positiva valoración social y estética de los edificios destinados a la industria y a las actividades relacionadas con ella. Prueba de ello es que varios de dichos edificios fueron galardonados por los jurados del *Concurs Anual d'Edificis i Establiments* que entre 1899 y 1931 organizó el Ayuntamiento de Barcelona para premiar el mejor edificio construido cada año. Entre los galardonados podemos citar la fábrica Casarramona (1911), la editorial Salvat (1916) y la perfumería Myrurgia (1929); entre los mencionados honoríficamente, los talleres de *La Vanguardia* (1903), el taller de fotografía Audouard, los almacenes de la fundición Masriera y el despacho de la fábrica de Anís del Mono (todos en 1904).

En la década de 1920 los arquitectos del movimiento moderno prestaron gran atención a la arquitectura y a la tecnología de las fábricas. En Cataluña, y en las páginas de publicaciones como el *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña* de 1927 o la revista *Arquitectura i Urbanisme* de 1933, encontramos algunos de los primeros artículos que valoran las modernas construcciones fabriles realizadas siguiendo los cánones de la arquitectura racionalista; entre ellas destacaban las instalaciones de Roca Radiadores, Myrurgia, Seix Barral, Cosme Toda, Polydor y Mas Bagà, en las que se aplicaron nuevos materiales y nuevas técnicas constructivas¹⁰. En la década de 1940, y más claramente en la etapa de fuerte desarrollo industrial de la de 1950-1960, la nueva arquitectura industrial de los modernos y grandes centros de producción de sectores innovadores, como el automovilístico (Seat, por ejemplo) y otros (Hispano Olivetti, la editorial Gustavo Gili, el edificio industrial Loewe), serían de nuevo objeto de tratamiento en las páginas de las más prestigiosas revistas de arquitectura catalanas. *Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo* publicaría a menudo proyectos y fotografías de las nuevas construcciones fabriles, obra cada vez más de ingenieros industriales.

Con la valoración de las nuevas tipologías de edificios y grandes conjuntos y las primeras noticias sobre la arqueología industrial en Europa se iniciaría el interés por algunos emblemáticos edificios industriales modernistas de fines del siglo XIX, en los que se apreciaba el uso del hierro en sus elementos portantes y decorativos. Dos artículos pioneros del catedrático de Historia del Arte y crítico Alexandre Cirici Pellicer, uno sobre el edificio de la editorial Montaner y Simón y otro sobre la arqueología industrial¹¹, serían un buen ejemplo.

En la década de 1980, paralelamente a la reflexión sobre las fuertes transformaciones que afectaron a las tramas históricas y al desarrollo de la arqueología industrial en España se realizarían trabajos bastante significativos en el ámbito catalán. Destacamos el ya citado de Campos y Pastor sobre la implantación de la industria en el Ensan-

¹⁰ *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, 1927, y *L'arquitectura a les fàbriques*, 1933.

¹¹ A. CIRICI, 1963 y 1978.

che de Barcelona y el de Corredor y Montaner sobre la arquitectura industrial en Cataluña¹². Además de estos cabe citar el de Sanz y Giner¹³, así como las publicaciones de Jaume Rosell sobre las innovaciones técnicas en la construcción, que en gran parte se aplicaron a las fábricas, como ya hemos señalado. Desde entonces el conocimiento del espacio fabril ha avanzado con un número relativamente amplio de investigaciones y estudios de casos. Unos se refieren al proceso de industrialización en diferentes barrios de la ciudad y otros son monografías sobre empresas o fábricas, o bien estudios acerca de colonias industriales y ciudades fabriles catalanas, sin olvidar el interés que despiertan las chimeneas, en algunos casos el único resto que permanece del espacio productivo.

De entre estos trabajos hay que destacar el realizado sobre el Raval, el primer barrio de la ciudad antigua donde se instaló una máquina de vapor aplicada a la producción textil. Se trata de una excelente y muy bien documentada investigación llevada a cabo en la década 1980-1990, momento en que se iniciaba la remodelación de dicho barrio, la cual supuso la desaparición de numerosos edificios fabriles construidos en la primera revolución industrial que todavía se mantenían en pie, en bastantes casos con usos industriales¹⁴.

A pesar del fuerte impacto de la industrialización, Barcelona había recibido, sin embargo, poca atención en los estudios generales de arqueología industrial y de historia de la ingeniería, y la intervención de los ingenieros industriales en la construcción y la organización de los establecimientos fabriles apenas había sido tratada. La amplia investigación realizada a raíz de los derribos de fábricas para levantar la Villa Olímpica, a partir de 1987¹⁵, y algunas publicaciones posteriores permitieron centrar el interés en las instalaciones fabriles de los principales barrios industriales de la capital catalana (Sant Andreu, Les Corts, Sants, Sant Martí)¹⁶. Más recientemente, la destrucción del patrimonio

¹² J. CORREDOR y J. M.ª MONTANER, 1984. Una visión general sobre la arquitectura industrial, en I. AGUILAR, 1990 y 1998; H. CAPEL, 2004, vol. II, pp. 525-580; y J. SOBRINO, 1996.

¹³ J. A. SANZ y J. GINER, 1984. Entre los trabajos de J. Rosell destacamos los dedicados al estudio y aplicación de la *volta catalana* y de los nuevos materiales de construcción, como el hormigón armado.

¹⁴ J. ARTIGUES y F. MAS, 2005.

¹⁵ Sobre el inventario y la catalogación de las industrias derribadas para construir la Villa Olímpica veáse F. CABALLÉ, R. GONZÁLEZ y T. NAVAS, 1991, donde se resume el documento depositado en el Museu d'Història de la Ciutat de Barcelona.

¹⁶ X. BASIANA, M. CHECA y X. URPINELL, 2000. Sin ánimo de exhaustividad remitimos también a las publicaciones de Francesc Cabana, a las de los historiadores de la economía del equipo del profesor Jordi Nadal Oller y al trabajo de F. CABALLÉ y A. NICOLAU, 1993. Las investigaciones sobre los distritos de Sant Martí, Sants y Sant Andreu fueron reseñadas en la revista *L'Avenç* en 2004. También destacamos M. CHECA, 2002a, sobre la Sagrera-Sant Andreu, y de M. TATJER, A. VILANOVA e Y. INSA, 2005. Otras investigaciones, sin el objetivo de analizar el espacio fabril, aportan valiosos datos sobre las empresas que se instalaron en un determinado barrio de Barcelona, como por ejemplo Sants (C. ENRECH, 2004).

nio industrial se ha acelerado a raíz de las transformaciones posolímpicas y de la implantación, a partir del 1998, del plan 22@. La reivindicación de su mantenimiento y rehabilitación ha estimulado la reflexión y los estudios sobre el patrimonio industrial de Barcelona en general y del Poblenou en particular. Muchos de los recintos fabriles barceloneses, a menudo obra de reconocidos arquitectos e ingenieros y síntesis de las iniciativas y del trabajo de empresarios, técnicos y obreros, se pueden considerar verdaderas catedrales de la industria y son elementos fundamentales para conservar la memoria histórica del origen de la sociedad contemporánea.

III

LAS DIVERSAS TIPOLOGÍAS DE LOS ESPACIOS FABRILES

Por la larga trayectoria fabril de la ciudad y por la gran disponibilidad de fondos documentales accesibles al investigador, Barcelona es un ámbito privilegiado para el estudio de las distintas formas que adquirieron los espacios productivos destinados a la industria, lo cual nos permite presentar ejemplos de diferentes edificios, estructuras y elementos fabriles agrupados en tres grandes tipos fundamentales (los grandes recintos fabriles, las fábricas, y las naves y los pequeños conjuntos), a la vez que destacar el papel de los ingenieros en su construcción y organización productiva y técnica.

III.1. *Los grandes recintos industriales barceloneses*

Consideramos grandes recintos fabriles aquellos que tenían una amplia extensión, generalmente superior a los 10.000 m²; podían llegar a superar ampliamente los 50.000 en las grandes empresas mecanometalúrgicas, ocupando, por lo tanto, superficies equivalentes a varias manzanas del Ensanche (hasta cinco en el caso de Torras Herrerías y de Construcciones del Poblenou). Solían ser espacios cerrados por muros y presentaban una gran complejidad de instalaciones, ya que en muchos casos desarrollaban todo el proceso productivo, así como los de almacenamiento y comercialización. Eran conjuntos de composición relativamente armónica y simétrica, resultado de un proyecto unitario original o de un proceso de construcción por elementos a lo largo de algunas décadas, que finalmente producía un conjunto de geometría regular. Generalmente, a través de una calle o un pasaje arbolado se accedía al interior del recinto por una gran puerta de entrada (de rejería metálica o de madera) que podía adquirir la forma de un arco de piedra con el nombre de la empresa (La Maquinista Terrestre y Marítima o La España Industrial, por ejemplo). Originariamente, en el recinto se encontraban amplios espacios libres destinados a las distintas fases del proceso productivo (secciones de blanqueo natural, tendedores, en el caso de las industrias del sector textil; fundición, construcción y montaje, en las mecanometalúrgicas, etc.) que permitieron, con el tiempo, el crecimiento interno de las empresas. Tampoco era extraño encontrar alguna vivienda dedicada a





15.3. La España Industrial: Fundada en 1847 por los hermanos Muntadas, dos años más tarde trasladó parte de su producción al municipio de Sants, hoy distrito de Barcelona. Dedicada al ciclo completo del algodón (hilado, tejido, estampado y acabado) y conocida como el Vapor Nou, esta empresa fue una de las mayores del sector textil en España. Cerrada en 1969, de ella solo se ha conservado el edificio de dirección, la casa cuna y la gran puerta de entrada.

1) Grabado publicado en *La Academia* el 23 de noviembre de 1878. El conjunto de Sants ocupaba 38.031 m². En la organización y el funcionamiento del edificio, proyectado por el arquitecto Juan Vila Geliu, intervinieron técnicos ingleses e ingenieros catalanes. La maquinaria se importó de Inglaterra. En 1860 la fábrica contaba con siete máquinas de vapor de 600 caballos de potencia y con iluminación a gas con un gasómetro de sistema Arbós; 2) Distribución de la planta de la fábrica con los espacios productivos hacia 1929; 3) Vista fotográfica de la fábrica a principios del siglo xx. En la parte derecha se aprecian los amplios espacios dedicados a blanquear y secar las piezas de tela para su posterior estampado. (Las ilustraciones proceden de *La España Industrial*: libro del centenario, 1847-1947, Barcelona, Seix Barral, 1947).

estancia temporal del propietario o a residencia permanente del contraamaestre y el director¹⁷.

Completaban el conjunto la portería, una gran báscula en la entrada y cuadras para los carros y los caballos, así como alguna otra construcción destinada a oficinas (en ocasiones con mobiliario y elementos decorativos modernistas) o a equipamientos, entre los que a principios del siglo xx se incorporaron los servicios para los trabajadores (enfermería, casa cuna y comedores).

Algunos grandes recintos disponían de estación o de apartaderos ferroviarios propios (Macosa) o conectados a las líneas férreas de transporte de mercancías cercanas al puerto (La Maquinista Terrestre y Marítima, el Arsenal Civil); otros estaban lo suficientemente próximos a la estación para servirse de ella sin dificultad (La España Industrial).

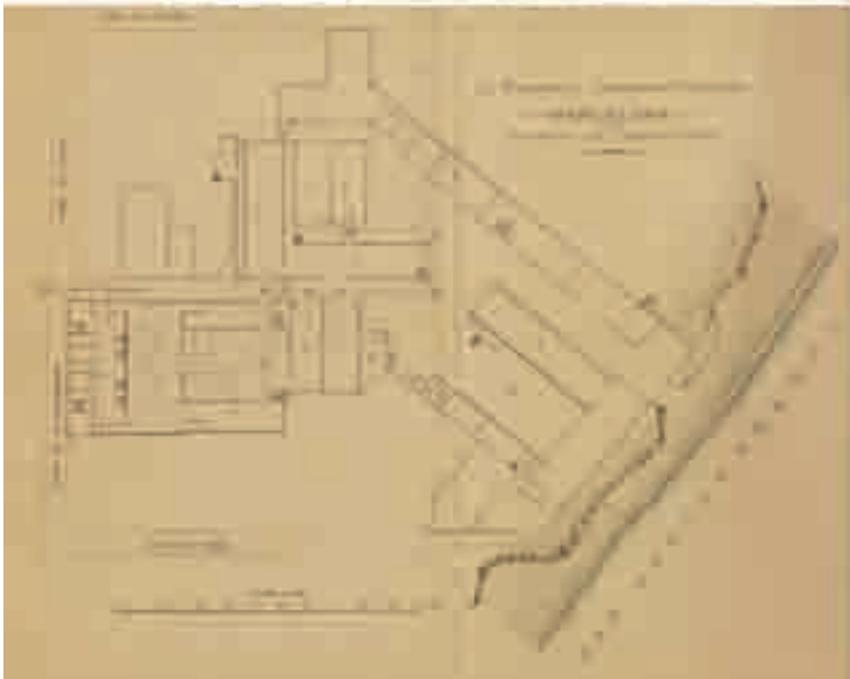
Las instalaciones productivas y los talleres de mantenimiento (carpintería, cerrajería, reparaciones mecánicas...), así como los dedicados al diseño y la comercialización, se establecían en forma de pabellones separados, en naves rectangulares de una o más plantas según sus diversas funciones, construidas con muros de ladrillo visto o mampostería, o combinación de ambos, y con cubierta de tejas de cuchillos de madera o metálicos¹⁸. Las estructuras portantes eran columnas huecas de hierro fundido fabricadas en las empresas de fundición que desde la década de 1830 existían en la ciudad¹⁹; La España Industrial encargó a la de Valentí Esparó 258 columnas, mientras que las 336 de Can Batlló de Les Corts procedían de la fundición Comas y de La Maquinista Terrestre y Marítima.

Las diversas naves y los edificios del conjunto se distribuían, bien en torno a un patio central, bien por calles adoquinadas, enlazadas por una red de raíles y vagoneetas para el transporte de materias primas y productos acabados. El sistema energético comprendía las carboneras y las salas de las calderas y las de las máquinas de vapor. Las primeras de estas eran extranjeras, pero pronto fueron fabricadas por empresas

¹⁷ Algunas guías del siglo xix, como las de Balaguer, Cornet y Mas u Orellana, entre otras, describen ampliamente la arquitectura y las instalaciones técnicas de estos recintos. No obstante, poco sabemos de su funcionamiento más allá de los mencionados aspectos productivos o técnicos; solamente algunas memorias personales nos evocan el pequeño microcosmos técnico y social en que se convirtieron las grandes industrias a lo largo de su trayectoria. En este sentido es ejemplar el caso de la fábrica textil de Can Recolons, en el Clot, recogido por M. MUNTADES, 2002.

¹⁸ A partir del trabajo de campo en los restos fabriles actuales destacan mayoritariamente las estructuras de cubierta con cuchillo de hierro, algunas de gran interés, como las de Can Ricart, sin que podamos precisar la cronología. Todo apunta a que la estructura de hierro de cubierta fue ampliamente utilizada a partir de la década 1860-1870, mientras que la madera se empleó frecuentemente en los primeros grandes recintos de 1840-1850, como La España Industrial. Afortunadamente, la construcción de La España Industrial se conoce de una forma precisa y detallada a partir de la documentación notarial y de los archivos de la propia empresa, estudiados por M.ª I. GUTIÉRREZ, 1995.

¹⁹ A. SOLÀ, 1984, pp. 221-230. Otras referencias, en M. TATJER, 2011.



15.4. La Maquinista Terrestre y Marítima: Emblemática empresa fundada en 1855 e instalada en 1856 en el barrio de la Barceloneta, se mantuvo en el mismo lugar hasta el cierre de la producción en 1965. A partir de entonces la producción continuó en la planta que desde 1920 funcionaba en Sant Andreu. Derribadas las instalaciones de la Barceloneta en 1987 (excepto la puerta de entrada, una nave y una parte de la estructura del tren de laminación), dieron paso a un gran conjunto de viviendas sociales y equipamientos públicos educativos.

1) Vista del conjunto según un grabado de Antonio Castelucho de 1856. Este prestigioso dibujante y escenógrafo realizó también numerosos dibujos de la producción de la empresa (puentes, locomotoras, maquinaria, estructuras metálicas...), así como del interior de las instalaciones; 2) Plano de La Maquinista Terrestre y Marítima en 1886. A fines de siglo XIX ocupaba una superficie de más de 20.000 m² y contaba con seis motores de 137 caballos y nueve generadores de vapor con un total de 186 caballos, y en ella trabajaban unos 800 operarios (que en 1908 ya eran 1.200), además de una amplia plantilla de ingenieros industriales (15 en 1908).

barcelonesas como Talleres Nuevo Vulcano, Alexander Hermanos o La Maquinista Terrestre y Marítima²⁰. Una red subterránea de conducciones de humo enlazaba con la chimenea, que podía alcanzar hasta 50 m de altura, o incluso más, como los 64 de la troncocónica de Can Batlló. Al mismo tiempo, en las fábricas del sector textil (generalmente naves de hilaturas) estas conducciones distribuían vapor a las dependencias que lo precisaban. Habitualmente, en los grandes recintos existían balsas, pozos y torres o depósitos de agua.

Muchos de estos recintos instalaron iluminación de gas con gasómetros propios que permitían trabajar de noche (el Vapor Vell en 1844, La España Industrial en 1860)²¹, y a partir del último tercio del siglo XIX también electricidad, producida *in situ* por máquinas Gramme. Una de las pioneras en el empleo de este tipo de iluminación fue, en 1874, La Maquinista Terrestre y Marítima. A partir de la primera década del XX se colocaron casetas para transformadores, al establecerse la conexión con la red eléctrica de las primeras compañías de producción y suministro de electricidad. Igualmente, estos grandes recintos fueron los primeros que a partir de la década de 1850 instalaron telégrafos eléctricos y, desde 1878, teléfonos entre sus fábricas y las oficinas y despachos situados en el centro de la ciudad²². A principios del siglo XX algunas fábricas funcionaban ya totalmente con electricidad (iluminación y energía para el funcionamiento de las máquinas), bien de producción propia (como la fábrica de pianos Ortiz y Cusó en 1907), o bien a través de la red de las primeras centrales térmicas barcelonesas (como la Harinera del Clot en 1908-1909 y Casarramona en 1911)²³. Solían completar el conjunto la torre del reloj, con pararrayos, y jardines de corte neoclásico con parterres y arbolado de sombra, frecuentemente falsos plátanos, aunque también acacias y álamos²⁴.

La imagen de estos recintos en sus momentos de esplendor quedó plasmada en una iconografía industrial compuesta de dibujos y pinturas debidos a los mejores profesionales vinculados a la Escuela de Dibujo de la Lonja. Destacamos los grabados de La Maquinista Terrestre y Marítima entre 1860 y 1880 y el de Can Ricart en 1888, obra de Casteluchó, así como el grabado de Can Batlló de Les Corts realizado por Rigalt en

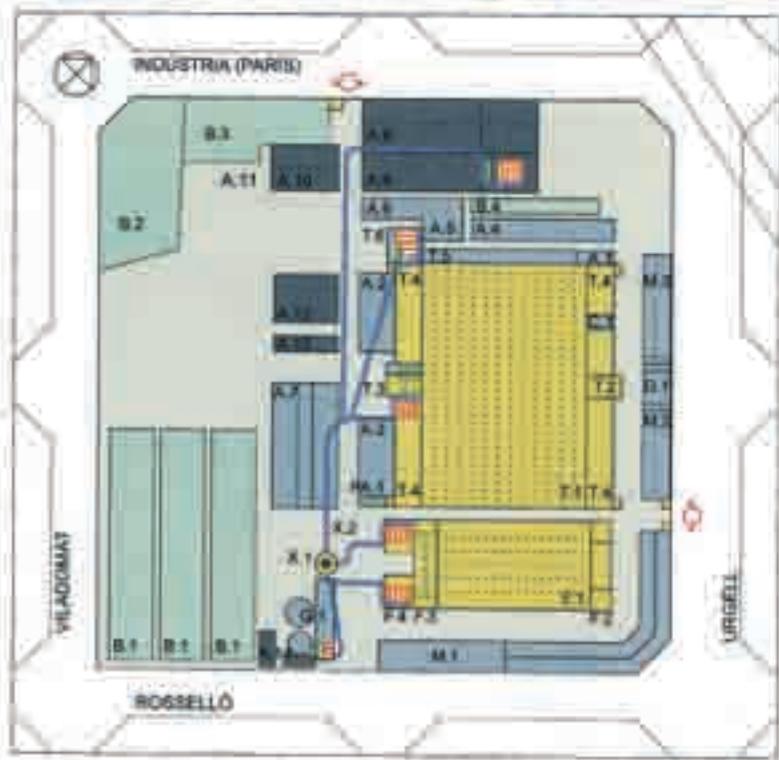
²⁰ Sobre los vapores fijos instalados por La Maquinista Terrestre y Marítima en las fábricas es imprescindible consultar el trabajo de J. NADAL, 2000.

²¹ M. ARROYO, 1996, pp. 59 y 233.

²² Véase H. CAPEL y M. TATJER, 1994, p. 1088, donde citamos el caso de la Barcelonesa de Bronces y Otros Metales en 1854 y el de La España Industrial en 1862; además de las mencionadas, un buen número de fábricas contaron con telégrafo. Con respecto al teléfono, H. CAPEL, 1994a, pp. 8, 18 y 41. Entre los primeros recintos que lo tuvieron figura la fábrica de jabones Rocamora, que en 1882 comunicó las instalaciones del Poblenou con las oficinas del centro de Barcelona por este medio. En 1894 más de la mitad de las grandes fábricas de Barcelona disponían de línea telefónica.

²³ Sobre la implantación de la electricidad en las fábricas barcelonesas contamos con el completo estudio de A. CALVO, 1989.

²⁴ J. DÍAZ, 2007.



15.5. Fábrica Batlló Hermanos: Conjunto fabril de arquitectura ecléctica proyectado por el maestro de obras Rafael Guastavino y el ingeniero Alejandro Marly en 1870 para la familia de industriales textiles Batlló. Destacó por su composición arquitectónica y técnica y estuvo en funcionamiento hasta principios de 1889. En la primera década del siglo XX fue transformado en Escuela Industrial y entre 1927 y 1964 albergó la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, junto con estudios técnicos de grado medio y otras actividades científicas y técnicas. Incorporando las calles correspondientes, ocupa cuatro manzanas del Ensanche de Barcelona, en la parte que correspondía al antiguo municipio de Les Corts (fue agregado a Barcelona en 1897). Actualmente, con usos educativos y sede de instituciones, es uno de los emblemas del patrimonio industrial de Barcelona.

1) Vista del conjunto según un grabado de Agustín Rigalt de 1878; 2) Plano de distribución y función de las diferentes secciones hacia 1887 (R. GRAUS et al., 2008, p. 338; está girado unos 90° a la izquierda con respecto a la vista superior).

1878 y el óleo de Caze de esta misma fábrica. Posteriormente, fotógrafos como Roisin o Thomas fijarían para la posteridad interiores y exteriores de estos espacios fabriles. Por otra parte, desde la década de 1860, y muy especialmente en la de 1880, diversas publicaciones especializadas o de carácter general ofrecían precisas descripciones de estos recintos y detallaban incluso sus aspectos técnicos y productivos²⁵.

Generalmente, los grandes recintos industriales se situaron a partir de la década de 1840 fuera de las murallas y del límite de la llamada *zona polémica*, donde por razones militares no podían levantarse construcciones estables. Buenos ejemplos serían, entre otros muchos, La España Industrial (1847), el Vapor Vell (1844) y Can Batlló (1878) en Sants; Can Batlló en la parte del ensanche de Les Corts (1870); Font, Alexander y Cía. (1857) y Can Recolons en el Clot; Can Ricart (1853) y la Fundición Girona (1857) en el Poblenou; La Maquinista Terrestre y Marítima (1855) en la Barceloneta; el Vapor del Fil (1840) —más tarde Fabra y Coats— en Sant Andreu, o la Auxiliar de la Industria en la Marina de Sants (1853-1855). Solían localizarse en terrenos rurales o con actividades preindustriales (prados de indianas, instalaciones de productos químicos...) que estuvieran cerca de la red viaria principal, de la red de acequias de riego o de capas freáticas, así como de infraestructuras ferroviarias y portuarias. En muchos casos tuvieron que adquirirse piezas pertenecientes a grandes explotaciones rurales o *masos* (El Vidriol y Can Batlló de Les Corts, la fábrica Sert en la Sagrera), incluso con la masía (como Can Pasec en la fábrica Recolons), con la finalidad de disponer del suelo necesario²⁶. Otras veces, a finales del siglo xix y principios del xx se autorizó la incorporación y la privatización de calles que, finalmente, fueron legalizadas en medio centenar de casos (entre los cuales pueden citarse Macosa, la central térmica de la Barcelonesa de Electricidad²⁷, o la Papelera Godó) como «manzanas industriales» por las ordenanzas municipales de edificación de Barcelona de 1958.

Esta tipología fabril se mantuvo hasta mediados del siglo xx, aunque adaptada a las nuevas técnicas y los nuevos estilos constructivos, así como a los sucesivos cambios de sistemas energéticos y procesos productivos. Grandes recintos como Hispano Olivetti, Pegaso o Seat serían algunos ejemplos; a ellos, además, se incorporarían un gran número de equipamientos y servicios destinados a los trabajadores (comedores, duchas, biblioteca, guarderías, escuelas de aprendices, etc.) como resultado de las reivindicaciones obreras y sindicales y de las normativas estatales.

La mayoría de estos recintos decimonónicos fueron proyectados por arquitectos académicos destacados; es el caso del de Can Ricart, diseñado en 1853 por el archi-

²⁵ Se trataba de trabajos sobre las exposiciones industriales celebradas en Barcelona a lo largo del siglo xix, de las guías de la ciudad y de publicaciones de carácter técnico o general.

²⁶ Sobre Can Batlló y El Vidriol véase M. TATJER, A. VILANOVA e Y. INSA, 2006, p. 200, y sobre la fábrica Recolons, M. MUNTADES, 2002.

²⁷ Respecto a la manzana industrial de la Compañía Barcelonesa de Electricidad, I. MURO y H. CAPEL, 1994, p. 134.

tecto, matemático y profesor de Matemáticas y Dibujo Lineal en la Escuela Industrial Barcelonesa José Oriol Bernadet según los cánones arquitectónicos propios del neoclasicismo, o el de la Auxiliar de la Industria, obra del arquitecto José Oriol Mestres y Esplugas²⁸, y también el de la desaparecida La España Industrial, en Sants, proyectada por el arquitecto académico Juan Vila Geliu. En otros recintos predominaba el eclecticismo, con la participación de prestigiosos profesionales, como Rafael Guastavino en Can Batlló de Les Corts. Este maestro de obras, que había seguido cursos de arquitectura y de ingeniería y que ya había diseñado por las mismas fechas otras dos fábricas en Barcelona²⁹, intervino en Can Batlló de Les Corts en 1870. Su proyecto, considerado de modernización compositiva y tecnológica y valorado también por la resolución de la planta subterránea de tejidos mediante bóvedas atirantadas, ha convertido Can Batlló en un icono del patrimonio industrial³⁰. Más adelante fue importante la aplicación del lenguaje modernista, como por ejemplo en la fábrica Casarrama, proyectada por José Puig y Cadafalch en 1911.

En el caso de la fábrica textil Arañó, la construcción estuvo a cargo de arquitectos barceloneses, pero el proyecto fue realizado en 1872 por la firma inglesa Prince Smith & Son de Keighley (Yorkshire)³¹. Otros ejemplos son la fábrica de alcohol y hielo Folch y Albiñana, construida en 1882 bajo la dirección del ingeniero alemán M. P. Kyll, de Colonia³², y la central térmica de la Compañía Barcelonesa de Electricidad, diseñada por técnicos alemanes de la AEG pero con la participación de los ingenieros barceloneses Manuel y Miguel Clavé en su construcción.

Pocos de estos grandes recintos han llegado intactos hasta hoy. Uno de ellos es el de la antigua fábrica Batlló Hermanos de Les Corts, sobre cuatro manzanas del Ensanche. También podemos mencionar los de Can Ricart en el Poblenou y Can Batlló en la Bordeta, además del de Fabra y Coats, que funcionaron hasta hace unos meses como espacios de industria compartida. Otras grandes factorías (Can Recolons, la fábrica Sert en la Sagrera, El Vidriol, Rivièrre, Torras Herrerías, Macosa, La Maquinista Terrestre y Marítima de la Barceloneta y del polígono del Buen Pastor, por ejemplo) han desaparecido totalmente, mientras que algunos recintos, fuertemente mutilados, solo mantienen como equipamiento una parte de las antiguas instalaciones, ya que el resto

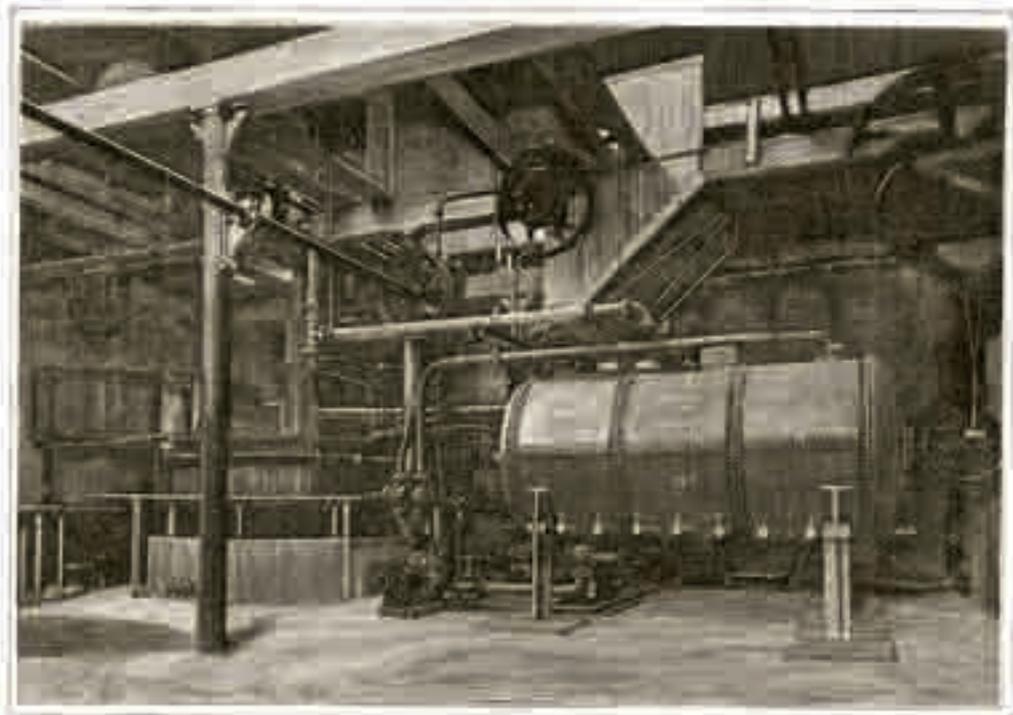
²⁸ Sobre este recinto fabril veáse M. TATJER y M. URBIOLA, 2005, y sobre José Oriol Bernadet, M. TATJER, 2005.

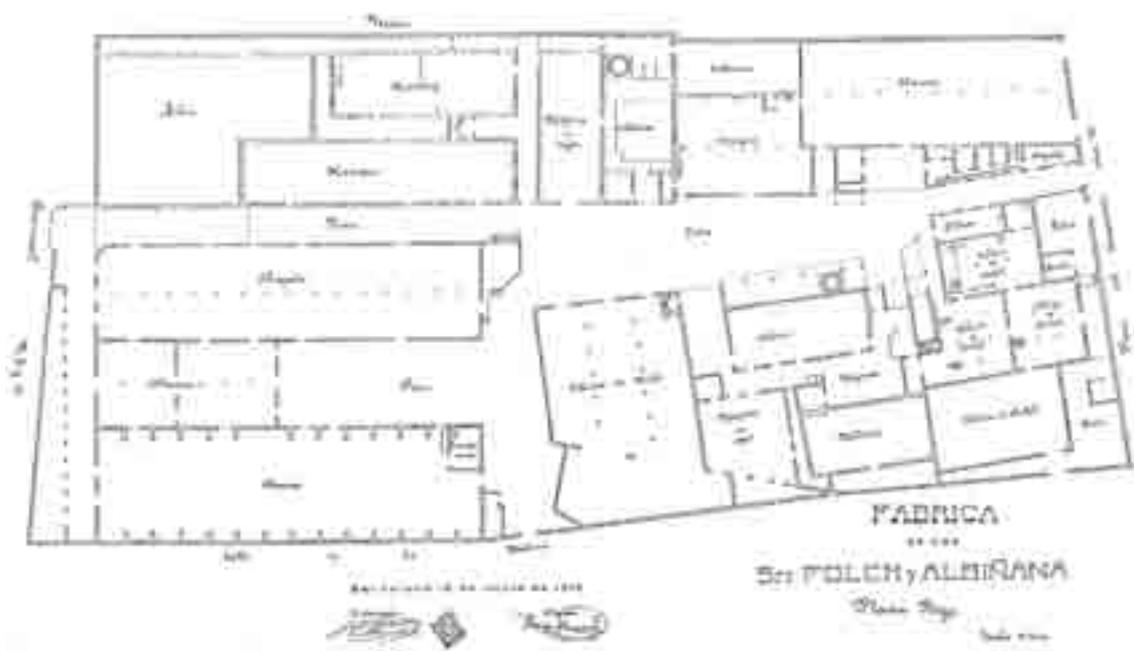
²⁹ Sobre estas fábricas, todavía por estudiar a fondo, tenemos las referencias de J. BASSEGODA, 2001, y S. TARRAGÓ, 2002. Una reciente publicación nos da más datos sobre su biografía y su obra en Cataluña: B. OLIVA, 2009.

³⁰ Noticias sobre esta fábrica, en M. TATJER, A. VILANOVA e Y. INSA, 2005 y 2006. El excelente reportaje fotográfico de su interior, realizado en 1908, ha sido estudiado por PORTOLÉS, 2004, y reproducido en GRAUS *et al.*, 2008.

³¹ A. VILANOVA, J. OLONA y E. SIMÓ, 1997.

³² F. CABANA, 1992-1994, vol. IV, p. 362.





15.6. Destilería Folch y Albiñana: Bajo esta denominación funcionó entre 1881 y 1987 un monumental complejo fabril situado en el paseo del Cementerio (actual la avenida de Icària) de Barcelona. Fue demolido en 1987 para construir la Villa Olímpica, aunque se conserva la chimenea más alta, de 50 m de altura.

1) Vista y detalle de la fachada principal, obra del arquitecto Antoni Costa; 2) Vista del salón de maquinaria y aparatos; 3) Planta del complejo en 1913, momento de máxima expansión de la empresa (ocupaba 13.630 m²). Destacan la destilería de alcohol a partir de cereales (instalada por técnicos alemanes entre 1879 y 1880), la fábrica de hielo artificial sistema Linde (proyectada hacia 1890 y con producción hasta la década de 1970), una de las más importantes de Barcelona, y la fábrica de harina denominada La Joaquina, en un edificio de bajos y cuatro plantas (proyectada en 1883, construida en 1898 y en funcionamiento hasta 1932 con cereal procedente de Guadalajara). Es visible también el sistema motor, compuesto por dos grandes máquinas de vapor (una de ellas tipo Corliss) que sumaban un total de 60 caballos en 1885; también se indica la situación del transformador y los electromotores instalados en 1913. (Fuente: Grabados publicados en *La Ilustración Española e Iberoamericana*, 1883; plano del Archivo Municipal Contemporáneo de Barcelona, *Obras Particulares*, 1913).

se destruyó para convertirse en viviendas y centros de actividades diversas (como ocurrió con el Vapor Vell y La España Industrial en Sants).

En algunos casos la conservación del recinto ha dejado en pie una parte importante de la edificación, salvada en función de nuevos usos no industriales. Pero en general las nuevas actividades a menudo han implicado modificaciones traumáticas del antiguo recinto, debido a intervenciones arquitectónicas desvirtuadoras y poco integradas con las que los arquitectos quieren emular y sobrepasar a los autores del edificio fabril original (Harinera Sant Jaime del Clot, Can Felipa) o a causa del interés de los promotores de alcanzar una desproporcionada y especulativa rentabilidad económica del suelo (Can Aranyó y Can Framis, por ejemplo).

En la mayoría de los recintos conservados total o parcialmente solo se ha respetado el edificio y alguno de los elementos constructivos, pero han desaparecido la maquinaria y las instalaciones, que ni siquiera suelen ser objeto de inventario técnico. Únicamente en algunos recintos —como la Harinera del Clot— se ha mantenido una pequeña parte del sistema productivo y algunas máquinas, casi a modo de decoración y complemento al nuevo mobiliario y a la nueva función³³.

Estos grandes complejos fabriles fueron considerados en su momento *templos consagrados a la religión del trabajo*³⁴ y actualmente han sido denominados *catedrales de la industria* por algunos estudiosos de la arqueología industrial. Su desaparición ha transformado el paisaje, y ello ha comportado, generalmente, la pérdida de la memoria histórica del proceso constructivo y técnico de la actividad que los originó. Este sería el caso de empresas ochocentistas como la textil Regordosa, la de perfumes Renaud Germain o la de productos químicos El Vidriol, dentro del que hoy es el distrito de Les Corts; de ellas no queda huella ni recuerdo alguno, y solamente una reciente investigación ha permitido la reconstrucción planimétrica y la recuperación de su trayectoria técnica y empresarial³⁵.

III.2. *Las fábricas*

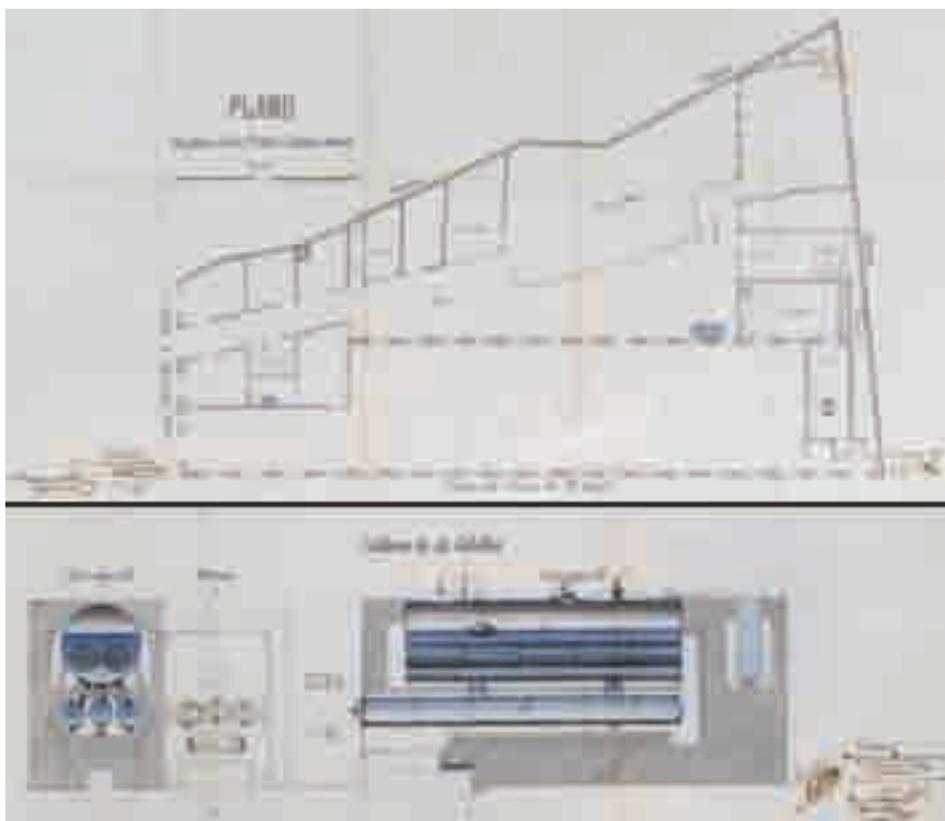
Consideramos aquí fábricas aquellos edificios destinados a la producción industrial y que ocupaban una superficie mediana (por debajo de los 10.000 m²). Se situaron tanto en parcelas entre medianeras como ocupando buena parte o la totalidad de

³³ El paso del inventario arquitectónico al tecnológico, que nos permitiría valorar los conjuntos fabriles con otro criterio, más allá de los valores estéticos o de la personalidad de los arquitectos que lo proyectaron, es todavía posible en algunos casos, aunque difícil. Hemos de destacar, no obstante, la labor desarrollada en este sentido por el Museu Nacional de la Ciència i de la Tècnica de Catalunya y por la Associació del Museu de la Ciència i de la Tècnica i d'Arqueologia Industrial de Catalunya, vinculada a la Asociación de Ingenieros Industriales de Cataluña, que proporciona un decidido soporte a las reivindicaciones e iniciativas de conservación y valorización del patrimonio industrial, como ha sido el caso de Can Ricart.

³⁴ R. GARRABOU, 1982, p. 230.

³⁵ M. TATJER, A. VILANOVA e Y. INSA, 2005.

una manzana. Esta tipología de edificio industrial respondía a un amplio repertorio edificatorio tradicional, implantado en la ciudad desde los inicios de la primera revolución industrial dentro del recinto amurallado, con variantes según el tipo de sector productivo, y extendido posteriormente, hasta mediados del siglo xx, a la mayoría de los barrios de la ciudad.



15.7. Fábrica Darder: Recinto fabril situado en el barrio del Raval, en la misma manzana que las fábricas Ricart y Tous, y contiguo al huerto del monasterio de Sant Pau del Camp. Inicialmente, desde 1840, fue propiedad de Aloy y Cía. En 1856 disponía de 7 caballos de vapor y 2.640 husos de máquinas de hilar tipo Mule-Jenny; posteriormente pasó a manos de Darder, Cabañes y Oliveras, quienes en 1869 ampliaron la potencia. El recinto permaneció en pie con diversos usos fabriles desde comienzos del siglo xx hasta la remodelación total de la zona como jardín público y equipamientos, en los años ochenta del pasado siglo. Ambos planos fueron firmados por el ingeniero industrial Camilo Juliá. (AMCB, Q127, Obras mayores – Fomento, exp. 2089 bis C, 1869).

1) El estado de la fábrica en 1869. Un estrecho acceso conduce a un amplio patio donde destaca la gran cuadra de hilatura (de 50 m de longitud y 10 de anchura, con cuatro plantas que exhiben secuencias ritmadas de ventanales). Se detalla la situación del sistema energético (máquina, cuarto de caldera y depósito de combustible y chimenea) y varios pozos. En la misma parcela se indica la existencia de cinco lavaderos públicos con sus dependencias anejas; 2) La sección de calderas de vapor que se solicita legalizar.

En Barcelona durante el siglo XIX encontramos dos modelos. Uno era la casa-fábrica de la primera mitad del Ochocientos, característica del Raval (fábricas Estruch y Tarruella, todavía visibles) y también presente en otras partes del núcleo antiguo (Vilumara, Sert); estaba organizada con viviendas en fachada y con varias dependencias o *cuadras*, así como la nave para el vapor, en torno a un patio central interior³⁶. El otro modelo era simplemente la *fábrica de pisos*, que presentaba, en función del tipo de actividad, un mayor desarrollo en altura (2 o 3 plantas, e incluso más a partir de la incorporación de montacargas) y una composición de fachada y una distribución interna variadas.

El interior de las naves o cuadras solía tener plantas diáfanas, con presencia de pilares de fundición como elementos portantes y parte del sistema de embarrados que transmitía la energía a las máquinas. Este tipo de pilares aparecen de forma clara en 1833 en las fábricas, al igual que en los grandes recintos antes citados, y se mantienen a lo largo del siglo XIX, incluso en edificios modernistas como la editorial Montaner y Simón³⁷. Estos recintos adoptaron pronto (ya en la década de 1850) la iluminación mediante gas, que era conducido desde las diversas centrales existentes en la misma Barcelona y sus alrededores³⁸.

Algunos ejemplos de casa-fábrica permanecen todavía en barrios fabriles como Sant Martí (La Escocesa, en la calle de Pere IV, en el Poblenou) e incluso en el propio Ensanche. Concretamente, no muy alejada del paseo de Gràcia existe todavía la antigua casa-fábrica de muñecas Lehmann y Cía., construida en 1894 en la calle del Consell de Cent, donde se reproduce el modelo de vivienda en el frente de calle y naves en la parte interior, dispuestas alrededor de un patio en el que se encontraba el vapor con la correspondiente chimenea, todavía en pie³⁹.

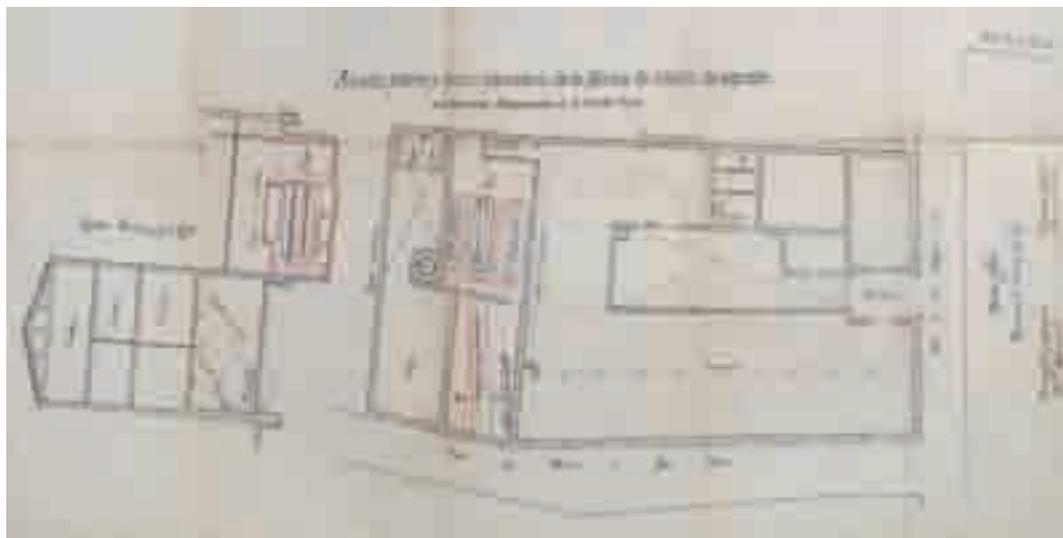
En las fábricas que se abrían directamente a la calle destacaba la puerta de entrada en posición central o en esquina con elementos decorativos (esculturas, mosaicos) y rotulación específica con el nombre de la empresa (Galletas Viñas). En alguna de estas fábricas estaban también las oficinas, con mobiliario y bellas decoraciones modernistas (Galletas Viñas, Cervezas Damm), o incluso la vivienda del propietario al lado (editorial Salvat, Cervezas Moritz, fábrica Sert) o en el primer piso (editorial Thomas, Aniceto Negre). En otros casos su domicilio no estaba demasiado lejos (los propietarios de la editorial Montaner y Simón residían a dos manzanas de la empresa, y los de la destilería de Can Deu alzaron sus chalets en la manzana contigua).

³⁶ J. ARTIGUES y F. MAS, 2005, vol. I, p. 81. A pesar de la intensa remodelación urbanística que se ha llevado a cabo en este barrio, que junto con la Barceloneta fue cuna de la Revolución Industrial barcelonesa, algunas de las casas-fábricas reseñadas por estos autores todavía siguen en pie.

³⁷ A. SOLÀ, 1984. Sobre el edificio de la citada editorial, A. CIRICI, 1963.

³⁸ M. ARROYO, 1996, pp. 285-286 y 297.

³⁹ S. SÁNCHEZ SUÁREZ, 2000. Véase la chimenea en la fig. 15.10.2.



15.8. Fábrica Tous: Plano de la planta de la fábrica de hilados de algodón propiedad de Nicolás Tous (después, de Bartolomé Miralpeix), una de las primeras instalaciones del casco antiguo de Barcelona que utilizó máquinas de vapor para el proceso productivo. Situada desde 1832 en la calle de las Tapias, sobre una antigua fábrica de indianas y junto al antiguo convento de Sant Pau del Camp, el edificio se mantuvo con otros usos fabriles hasta que fue derribado en la década de 1990. En el jardín resultante se conserva la antigua chimenea. Por motivos de seguridad las calderas se situaron en un semisótano adjunto al edificio principal. En la planta baja, la máquina de vapor (60 CV) acciona los embarrados horizontales situados en la nave, de cuatro alturas y con una línea central de pilares de fundición y cubierta de madera. Con la actuación proyectada el cuarto de calderas pasa a tener un «hervidor alimentario, un generador que se instala y un generador de reserva». Plano firmado por el ingeniero industrial Gaspar Forcades. (AMCB, Q127, Obras mayores – Fomento, exp. 1.963 bis C, 11 de abril de 1898).

Las instalaciones telefónicas y eléctricas también fueron tempranas en ellas, a veces más que en la mayoría de los grandes recintos: 23 fábricas de Sant Martí auto-producían electricidad en 1903, y en 1914 ya lo hacían 56. En paralelo, desde 1906 la ampliación de la potencia de las centrales térmicas de Barcelona y la extensión de la red y las subcentrales por los pueblos del Llano permitieron a muchas empresas conectarse a la red de distribución de la Compañía Barcelonesa de Electricidad y de la Central Catalana de Electricidad; a partir de 1915 parte de la energía eléctrica provenía del Pirineo catalán, donde ambas compañías, además de Energía Eléctrica de Cataluña, habían construido embalses y centrales⁴⁰.

⁴⁰ Conocemos con detalle los casos de Les Corts (M. TATJER, A. VILANOVA e Y. INSA, 2005, p. 53). Sobre Sant Martí, J. NADAL y X. TAFUNELL, 1992, p. 160, y sobre otras localidades, I. MURO y H. CAPEL, 1994, p. 133. Además estamos estudiando monográficamente algunos casos de fábricas a través de la documentación de permisos de obras y de antecedentes de actividad industrial. Para un panorama de conjunto, A. CALVO, 1989.

A lo largo del siglo XIX y hasta los años anteriores a la Guerra Civil este tipo de fábrica contaría a menudo con la intervención de maestros de obras capaces de dar soluciones técnicas innovadoras, como la estructura de cuchillos metálicos de 20 m de longitud construida por José Calzada en 1855 en la fundición La Paloma de José Comas. Junto a ellos figuran conocidos arquitectos (José Boxareu, Félix Ribas, Narciso Nuet, José Fontseré, Luis Doménech y Montaner, Enric Sagnier, Joaquín Bassegoda, Julio Batlle, Antonio Puig Gairalt). Estos profesionales aplicaron diferentes lenguajes arquitectónicos y artísticos. A mediados del XIX se mantenía la influencia formal del neoclasicismo, con composición de fachada sobria y ritmo de aberturas seriadas simétricas, pero bien pronto también se adoptaron el eclecticismo y el historicismo (fábrica textil neogótica de Antonio Camps, 1871), así como, en el cambio de siglo, el modernismo (editoriales Montaner y Simón, 1879-1885, y Talleres Thomas, 1895-1898, ambas obras de Doménech y Montaner), y, en las primeras décadas del siglo XX, el *noucentisme* y el *art déco* (Perlas Imitación, Gramófono Odeón), además de la arquitectura del movimiento moderno (Myrurgia). Por su parte, los ingenieros intervendrán tanto en la organización interior del sistema productivo como en las instalaciones de máquinas de vapor y motores a gas, y posteriormente sobre todo en las eléctricas (iluminación, electromotores, montacargas), muy numerosas a partir de 1914.

Las instalaciones en forma de «fábrica» mostraron a lo largo del siglo XIX una gran capacidad de adaptación al trazado de las calles de Barcelona. En la ciudad todavía amurallada destacamos el establecimiento de nuevas empresas industriales en antiguos edificios fabriles de la segunda mitad del XVIII, así como en los solares abiertos sobre huertos en la primera mitad del XIX, en terrenos que fueron de propiedad religiosa (como los de la fundición y los talleres de construcción de máquinas Bonapla) e incluso en espacios conventuales tras la desamortización eclesíástica de 1835. De ello son buenos ejemplos la fábrica de estampados de Achón, instalada en 1838 sobre el convento de San Francisco de Paula, que al ser destruida por un incendio dio paso al Palau de la Música, o la Fundición Barcelonesa, en el antiguo convento de San Agustín Nuevo.

En los nuevos espacios extramuros podemos citar las primeras instalaciones fabriles de este tipo en el ensanche de Sant Antoni, cercano al Raval (Talleres Soujol hacia 1860, la fábrica de cervezas Moritz en 1864, la fundición Grau en 1867)⁴¹, y en su parte izquierda (la fábrica de vidrio Giralt-Casademunt, la Industria Eléctrica hacia 1890), así como las numerosas fábricas del Poblenou⁴². Este tipo de ubicación ha determinado que durante más de un siglo la industria conviviese con la residencia de una forma tan intensa que las chimeneas han sido hitos de referencia de la memoria colectiva de la mayoría de los habitantes de los barrios de Barcelona, desde la Ciutat

⁴¹ Cf. M. TATJER, 2009.

⁴² Sobre las fábricas de Sant Martí existe una amplia bibliografía. De ella destacamos M. CHECA, 2002a, y M. TATJER y A. VILANOVA, 2004.

Vella y el Ensanche hasta barrios industriales históricos como Sants, Sant Martí, Gràcia y Sant Andreu, sin excluir zonas no consideradas fabriles, como algunos lugares de Les Corts, Sant Gervasi o Sarrià.

La desaparición de estas fábricas se produjo de una forma más lenta que en el caso de los grandes recintos, ya que la menor superficie del suelo no permitía plusvalías urbanísticas considerables. Solamente desaparecieron más rápidamente a partir del momento en que tuvieron dificultades para ampliarse *in situ* o al quedarse obsoletas, así como por la aplicación de la normativa municipal sobre industrias nocivas, insalubres y peligrosas y el establecimiento en 1960 del impuesto de radicación, que gravaba la superficie ocupada; a todo ello se añadió la fuerte presión inmobiliaria a partir de la década 1960-1970⁴³.

Es particularmente emblemática la desaparición de conjuntos y fábricas modernistas muy destacadas, como el edificio de la empresa textil José Blanch en la calle de Rocafort (construido en 1910, obra del arquitecto Luis Planas Calvet) en la década de 1970, o la más reciente de la editorial Sopena. Con ellas se ha perdido no solamente la memoria histórica del edificio, sino, lo que es más importante, parte de la trayectoria técnica y socioeconómica de la empresa.

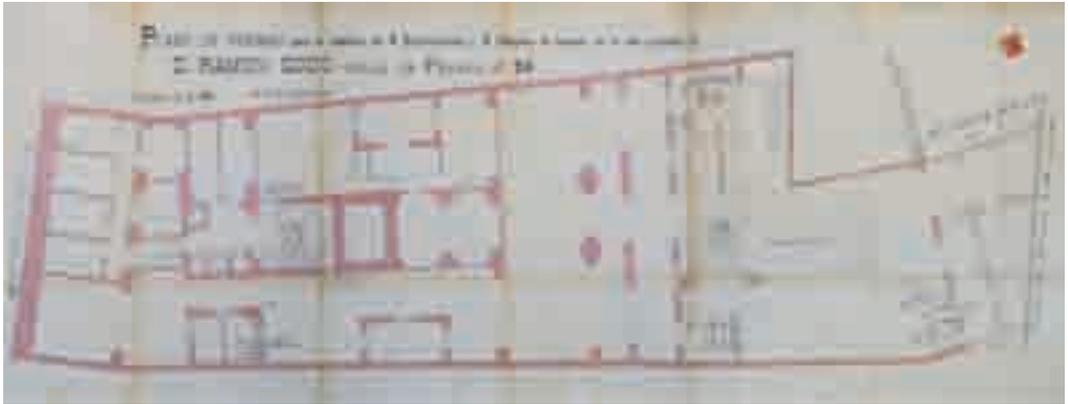
Encontramos, por otra parte, ejemplos importantes de «transformismo» en edificios que solo después de un cuidadoso estudio pueden ser reconocidos. Nos referimos, en concreto, a la famosa empresa de artes gráficas Henrich y Cía., sucesora del reconocido editor Narciso Ramírez y Rialp, que se construyó en 1886 y ocupaba 6.000 m² de la manzana Diagonal-Pau Claris-Córcega. Era un conjunto de gusto ecléctico compuesto por un gran edificio con entrada por la calle de Córcega (donde se situaban los talleres), con planta baja y otras dos rematadas por una tercera en forma de tres torres, con balaustrada en el cuerpo principal y buhardillas en los laterales, que se comunicaban con un montacargas de gran potencia. Completaba el conjunto la zona dedicada a la caldera de vapor (en 1886 contaba con dos máquinas de 40 caballos de vapor cada una, posteriormente ampliadas a 120)⁴⁴, con su correspondiente chimenea.

En esta industria, que también disponía de fundición de tipos y taller fotográfico, se instaló la primera rotativa que funcionó en Cataluña, en la que llegaron a trabajar 800 personas. Muy pronto contó también con conexión telefónica entre la fábrica y el despacho del centro de la ciudad⁴⁵. Dentro de su amplia actividad editó revistas técnicas (por ejemplo, *La Electricidad: Revista General de sus Progresos Científicos y Técnicos*), diversas publicaciones de la Asociación de Ingenieros (boletines, discursos) y numerosos carteles publicitarios de industrias barcelonesas. Fue ocupada a partir de 1934 por la empresa química Unicolor, que destinó el edificio a oficinas. Posterior-

⁴³ M. TATJER, 2006.

⁴⁴ AMCB, Obras particulares, exp. 405/1885-1886 y 15-2.857/1887.

⁴⁵ F. CABANA, 1992-1994, vol. IV, p. 95.



15.9. Talleres de La Vanguardia: Plano de la planta realizado para solicitar los permisos de instalación de tres electromotores (de 4, 8 y 20 CV) y dos máquinas de imprimir en la casa propiedad de Ramón Godó en la calle de Pelayo (AMCB, Q 127, Obras mayores – Fomento, exp. 871, 1903). El proyecto, realizado por el ingeniero Enrique Cardellach, presenta una de las primeras instalaciones productivas accionadas con electricidad en Barcelona. En el ascensor se emplea un sistema basado en una patente propia del ingeniero (n.º 22423), diseño descrito en la solapa del plano («Esquema del camarín», de 520 kg). La Vanguardia fue fundada en 1881 por la familia Godó, que complementaba así su actividad industrial de fabricación de sacos de yute en el Poblenou.

mente se derribó el inmueble anejo que hacía esquina con la calle de Pau Claris (posiblemente destinado a vivienda del propietario o a oficinas) y se ocupó el jardín, mientras que el resto del conjunto se ha mantenido hasta hoy y es todavía bastante reconocible a pesar de algunas modificaciones en la fachada.

En las últimas décadas, a partir de una normativa más estricta derivada del Plan General Metropolitano de 1974-1976, a menudo se ha conservado la estructura exterior de este tipo de construcciones fabriles con el fin de mantener la edificabilidad, de modo que se han transformado en viviendas o, en el mejor de los casos, en *lofts* (la fábrica Sert en la calle de Trafalgar, el Vapor Lull en el Poblenou, Cintas Santonja-Naipés Comas en la calle de Cortinas) o en equipamiento cultural (Montaner y Simón).

III.3. Las naves y otros pequeños conjuntos fabriles

Una buena parte de la actividad industrial de la Barcelona del siglo XIX se llevó a cabo en pequeñas empresas, tan características del tejido productivo catalán, en naves o en pequeñas construcciones entre medianeras, en áreas exclusivamente fabriles o en medio de otras de función mixta. Muchas empresas se instalaron en

espacios interiores de manzana, en pasajes, en los bajos de casas de vecinos o en edificios de apariencia residencial de dos o tres plantas, que compatibilizaban la vivienda del propietario con la fábrica (como en la desaparecida empresa Negre, en el Ensanche)⁴⁶.

Las naves podían tener distinto tipo de cubierta: a doble vertiente con tejas sostenidas por cuchillos de madera o de estructura metálica, con bóveda a la catalana o con dientes de sierra. Esta tipología de nave tenía la ventaja de que la cubierta, al apoyarse únicamente en las paredes laterales, dejaba una planta diáfana que daba gran flexibilidad de uso⁴⁷.

Algunas de estas naves, que salpican todavía hoy el paisaje barcelonés por varias zonas del Poblenou, Sants, Les Corts e incluso el mismo Ensanche, fueron proyectadas por arquitectos y maestros de obras, aunque también, en ocasiones, por ingenieros industriales⁴⁸. Presentaron una amplia gama estilística a lo largo del siglo XIX, de gusto ecléctico y modernista, y, ya a partir de la segunda década del XX, *noucentiste* o racionalista.

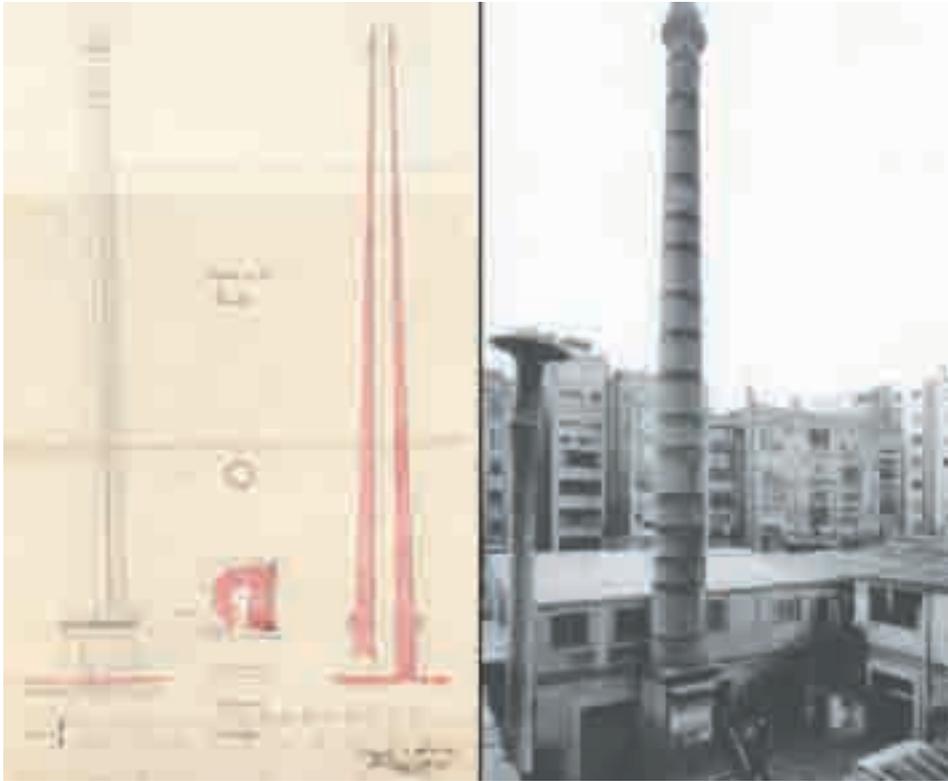
La permanencia de muchas de estas pequeñas y medianas industrias ha sido frecuente hasta hace poco, ya que su mejor adaptación a la forma de un parcelario urbano con pequeñas propiedades facilitaba su reconversión y su ocupación para sucesivos usos fabriles o de equipamientos. En el Poblenou todavía se mantienen en uso industrial algunas de estas naves modernistas y *noucentistes*, como la nave de la calle de Pujadas, que formaba parte de una fábrica de hielo en la calle de Badajoz, o la de una antigua fundición de la calle de Roc Boronat. Lamentablemente, muy pocas han sido objeto de una adecuada protección en el actual *Catálogo del patrimonio arquitectónico histórico-artístico de la ciudad de Barcelona*, lo mismo que en el más reciente *Catálogo del patrimonio industrial del Poblenou*, de 2006⁴⁹. La desidia municipal y los altos precios del suelo han actuado como factores determinantes para su desaparición. Solo algunos pasajes industriales de interior de manzana se han conservado casi intactos como almacenes o como pequeños talleres, o incluso con nuevos usos productivos. Están situados en la parte izquierda del Ensanche, zona en la cual proli-

⁴⁶ Una relativamente amplia recopilación, casi histórica, de naves industriales del Poblenou se encuentra fotografiada en el excelente libro de J. AZCUNE, 2004. En otras regiones, como Valencia, las naves industriales han recibido una atención adecuada; en este sentido destaca E. DOMÈNECH, 1989.

⁴⁷ J. CORREDOR y J. M.ª MONTANER, 1984, p. 30.

⁴⁸ Algunas referencias a naves y *sheds*, en J. A. SANZ y J. GINER, 1984, pp. 25-31. Como ejemplo de naves modernistas podemos citar las proyectadas por el arquitecto Ramón M. Ruidor en diversos lugares del Ensanche (plaza de Tetuán en 1899 y calle de Borrell en 1912, ambas desaparecidas) y la del arquitecto M. Raspall en el Poblenou en 1907 (calle de Badajoz, 97, todavía en pie).

⁴⁹ Sobre este *Catálogo* véanse las propuestas del GRUP DE PATRIMONI INDUSTRIAL DEL FÒRUM DE LA RIBERA DEL BESÒS, 2005, las cuales fueron aceptadas solo en parte por el plan municipal finalmente aprobado: AJUNTAMENT DE BARCELONA, 2006.



15.10. Dos chimeneas: 1) Corte longitudinal y planta de la chimenea de la Auxiliar de la Industria (1853-1855) (véase también la fig. 15.1); 2) Fotografía actual de la chimenea de la antigua fábrica de muñecas Lehmann, fundada en Núremberg en 1885, que abrió una filial en el Ensanche de Barcelona. Este segundo conjunto fabril fue proyectado en 1891 por los ingenieros Juan Vigo, B. Giol y Benito Altayó. En 1894 empezó a funcionar con dos máquinas de vapor del sistema Westinghouse (una de 5 CV y otra de 10 CV). En 1902 la Sociedad de Navegación e Industria construyó e instaló un generador de vapor de acero con dos hervidores y superficie de caldeo de 20 m². Se conserva íntegro el conjunto, que responde al modelo de casa-fábrica con viviendas en la fachada, y carboneras, chimenea y naves de producción en torno a un patio central interior adoquinado. Las antiguas naves están hoy ocupadas por talleres y estudios de artistas.

feraron ocupaciones con viviendas en forma de pasillo, así como pasajes industriales que permanecían ocultos por una casa de vecinos con fachada a la calle. Uno de estos pasajes, el de la calle del Consell de Cent, al que se accede por una verja de hierro a pie de calle, alberga actualmente varias pequeñas empresas de diseño y de informática, después de haber sido sede de una importante firma de artes gráficas.

IV

LOS INGENIEROS EN LAS FÁBRICAS BARCELONESAS

Las instalaciones productivas hasta ahora descritas no fueron solamente un espacio arquitectónico, sino que en su interior se desarrolló la verdadera vida fabril. Los ingenieros tuvieron un papel decisivo en su organización y en su funcionamiento técnico, además de en el constructivo, ya descrito.

IV.1. *La organización y la dirección técnica de los espacios fabriles*

En la puesta en funcionamiento de los edificios fabriles intervinieron frecuentemente ingenieros, aunque su actuación —que algunos autores han denominado *anónima*— solía limitarse a lo largo del siglo XIX al esquema productivo o al proyecto de instalación de las secciones de energía (máquinas de vapor, motores a gas o motores eléctricos) o de los elementos mecánicos productivos. El plan orgánico de 1855 no concedía atribuciones exclusivas a los ingenieros. No fue hasta la Real Orden de 10 de noviembre de 1867 cuando se autorizó a los ingenieros industriales, químicos y mecánicos a trazar y construir edificios destinados a industria, y se consideró que solo si estos tenían parte artística deberían intervenir arquitectos. A pesar de esta disposición, en la segunda mitad del siglo XIX fueron relativamente escasos los edificios industriales proyectados por ingenieros.

Hay que destacar, en cambio, su importante contribución al diseño del programa funcional de factorías de carácter más moderno, como La España Industrial o el Vapor Vell. En la construcción y puesta en marcha de la fábrica de La España Industrial intervinieron activamente, junto con técnicos extranjeros, Jaime de Castro y Vernet (empleado de la de Valentí Esparó y fundador de la Fundación Girona) y Ángel Martorell, ambos ingenieros mecánicos formados en la cátedra de Mecánica de la Escuela de la Junta de Comercio, dirigida por Hilarión Bordeje. Los dos habían completado su formación en el extranjero a cargo de la propia empresa⁵⁰. Por el contrario, en el Vapor Vell la mayoría de los técnicos eran extranjeros⁵¹. Otros ejemplos son los de las fábricas textiles Batlló: en la de Les Corts sabemos de la participación del ingeniero inglés Alejandro Mary⁵², y en la de la Bordeta los planos se debieron al barcelonés Juan Antonio Molinas⁵³. Fueron, no obstante, las empresas del sector mecanometalúrgico las que emplearon mayor número de ingenieros industriales⁵⁴. En La Maquinista Terrestre y Marítima podemos citar la intervención de Ernesto Tous Rapetti, que

⁵⁰ M.ª LI. GUTIÉRREZ, 2000, p. 254.

⁵¹ M.ª LI. GUTIÉRREZ, 1995.

⁵² M. TATJER, A. VILANOVA e Y. INSA, 2006, p. 250.

⁵³ D. BAQUÉ, 1997, p. 43.

⁵⁴ Según R. GARRABOU, 1982, en 1902 el 23,4% de los ingenieros barceloneses trabajaban en el sector metalúrgico mecánico.

proyectó en 1888 dos naves destinadas a calderería sostenidas por pilares de fundición y cubierta de cuchillo de hierro⁵⁵, además de construir las máquinas de hélice de varios acorazados. En esta misma empresa trabajaría el ya citado Molinas Soler como jefe de construcción desde 1873, y durante casi cincuenta años, entre 1874 y 1922, lo haría José María Cornet y Mas⁵⁶, el más conocido de toda la dinastía de los Cornet (todos ellos también empleados, en distintos períodos, en esta fábrica). Estos técnicos fueron solo una pequeña parte de la gran nómina de ingenieros (unos quince en 1895 y más de una treintena entre 1880 y 1912) que trabajaron en esta gran empresa mecanometalúrgica⁵⁷.

La Fundición Girona (Macosa) sería otro caso similar. En ella encontramos a José Raventós y a Octavio Saltor, además de a su propietario, el también ingeniero Juan Girona, incorporado a la dirección en 1880, cuando la empresa contaba con 10 de estos técnicos en su plantilla. Otros datos concretos sobre la actuación de estos técnicos los tenemos en el diseño de pequeñas industrias del mismo sector. En 1871 el ingeniero mecánico José Rabat y Viure diseñó en la Barceloneta una pequeña fundición de hierro que posteriormente quedó incorporada a la fábrica de contadores de gas de Federico Ciervo⁵⁸.

Por lo que respecta al sector textil, tenemos el ejemplo de la fábrica Batlló Hermanos de la Bordeta, en cuyo proyecto, realizado en 1878, intervino el antes citado Juan Antonio Molinas, figura importante de la ingeniería catalana y autor de varios tratados de máquinas. De esta misma empresa fue director técnico José Foulon Tudó. Otro caso significativo es el de la fábrica textil Can Saladrigas (1884), cuya construcción estuvo a cargo del ingeniero mecánico Francisco Pascual.

El papel de los ingenieros fue, en cambio, más destacado en la organización de la producción. Dentro del sector textil no hay que olvidar el desempeñado por Francisco Arrau Sanpons, profesor de la Escuela Industrial Barcelonesa y catedrático de Mecánica Industrial, cuyo *Tratado de hilatura de algodón*⁵⁹ había de servir para proyectar nuevas industrias textiles de este ramo.

En el resto de los sectores industriales de transformación, como alimentación, bebidas, papel o química, los ingenieros también ocuparían cargos técnicos, con una participación creciente a lo largo del siglo. Por ejemplo, Homs Valls mecanizó la fábrica de chocolates Juncosa a mediados del siglo XIX. De este modo, la ciudad de Barcelona se configuró como la mayor concentración española de ingenieros que trabajaban en industrias: en definitiva, como una verdadera *ciudad de los ingenieros*.

⁵⁵ AMCB, Obras particulares, exp. 253/1888.

⁵⁶ A. PÉREZ, 2007.

⁵⁷ R. GARRABOU, 1982, p. 170.

⁵⁸ AMCB, Obras particulares, exp. 2307-bis C.

⁵⁹ F. ARRAU, 1855. Cf. J. ARTIGUES y F. MAS, 2005, vol. I, pp. 96 y ss.

Lamentablemente, al haberse perdido parte de la documentación empresarial no podemos conocer con detalle su intervención en muchas empresas barcelonesas. No obstante, los datos que proporcionan los archivos municipales, así como los anuarios de la Asociación de Ingenieros, estudiados con gran detalle por Ramon Garrabou, permiten corroborar los casos que hemos presentado⁶⁰. No obstante, ahora podemos hacer una exposición más sistemática.

IV.2. *Los ingenieros industriales en la instalación de sistemas energéticos*

En la década de 1830 fue frecuente la participación de maestros de obras en la regulación de las primeras instalaciones industriales de máquinas de vapor. A partir de la creación de la Escuela Industrial Barcelonesa, en 1851, los ingenieros mecánicos titulados en ella serían quienes intervendrían en este tipo de montajes; en el último cuarto del siglo XIX, con la consolidación de la Escuela de Ingenieros Industriales, los ingenieros superiores se ocuparían casi de modo exclusivo de la instalación de máquinas de vapor y de gas. Posteriormente, a partir de la aplicación de la electricidad, participarían de forma activa en la instalación, primero, de máquinas Gramme para la iluminación a partir de 1874, y luego de electromotores en las décadas finales del siglo.

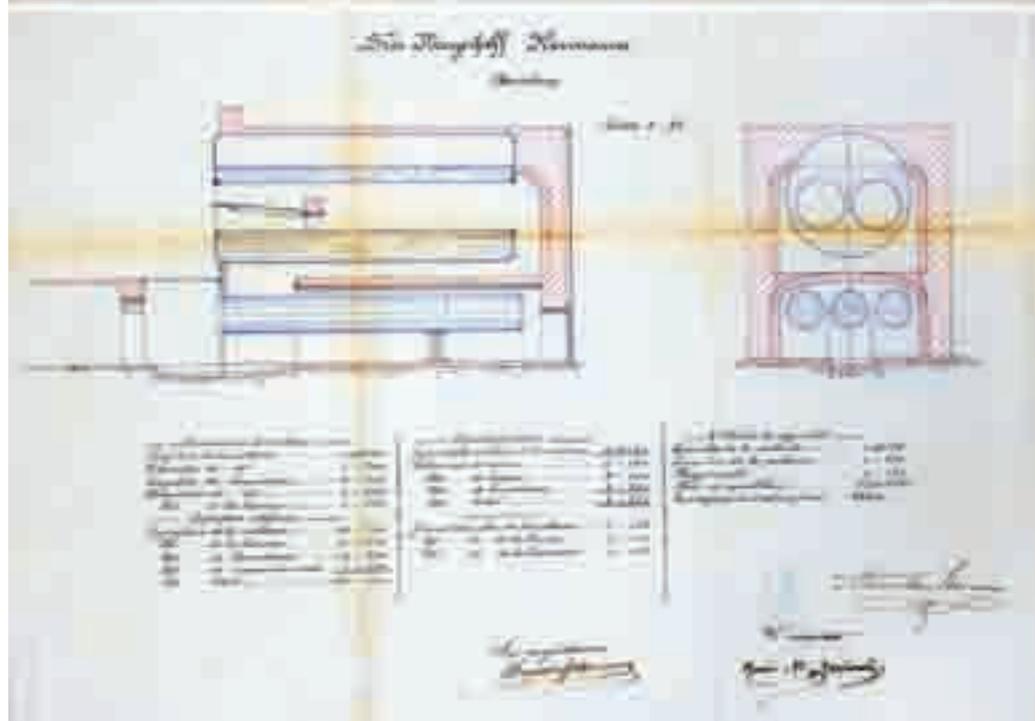
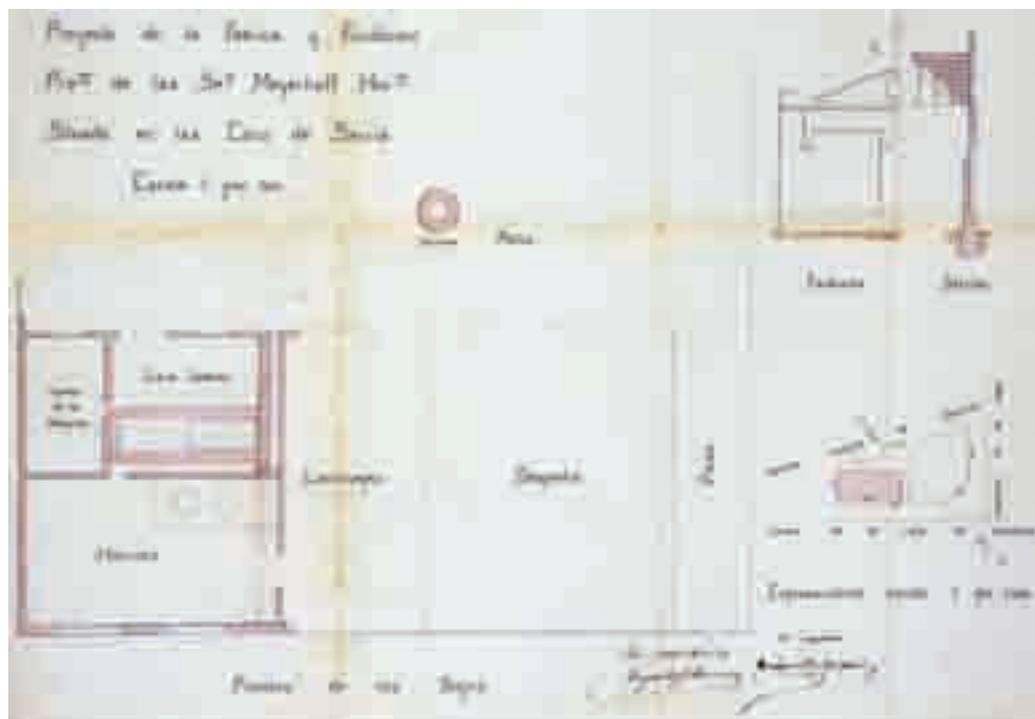
La consulta de los permisos de obras e instalaciones y legalizaciones industriales conservados en el Archivo Municipal Contemporáneo de Barcelona proporciona datos precisos acerca de la intervención de los ingenieros industriales en la construcción y organización productiva de las fábricas barcelonesas del siglo XIX⁶¹. En esta fuente, las solicitudes de instalación más antiguas datan de 1856. Entre las primeras estuvieron las realizadas en esa fecha por Juan Antonio Molinas.

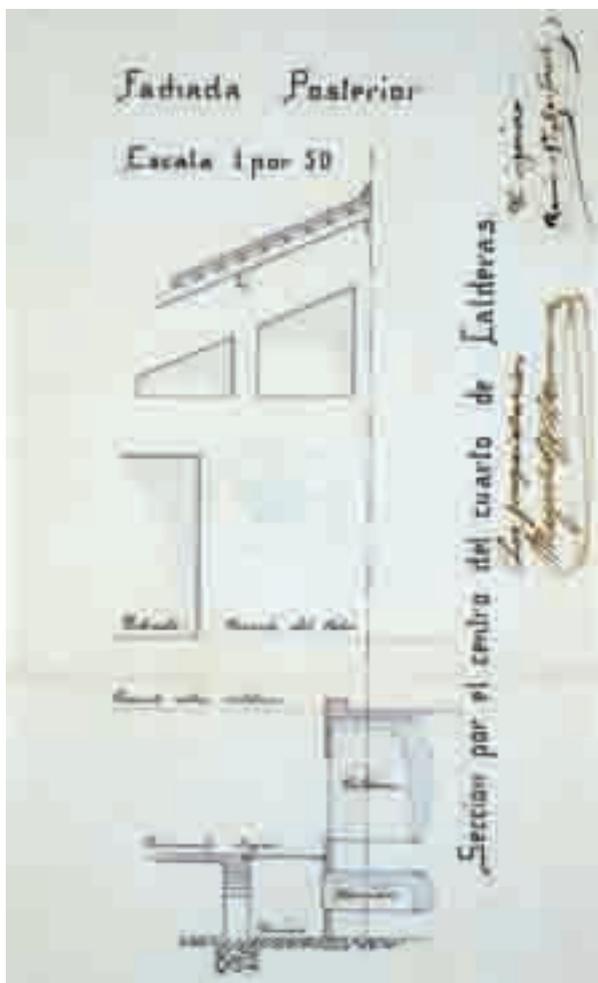
Algo más de un centenar de ingenieros intervinieron en este tipo de instalaciones, que supusieron en total unas mil solicitudes. Unos pocos concentraron esta actividad, y solamente 20 de ellos realizaron más de 10 instalaciones. Dentro de este grupo destacaron Jerónimo Bolívar y Galup, con un total de 162 solicitudes, y Gaspar Forcada con 133; les seguían Francisco Pucurull y José Playá, con 40 y 38 respectivamente, Alexander Hermanos con 28 y Juan Antonio Molinas y Pablo Vallhonrat con 27 cada uno. Según el tipo de montaje podemos mencionar a Bolívar, con 123 solitu-

⁶⁰ Los anuarios indican únicamente el lugar de trabajo de los ingenieros industriales. Para más datos, R. GARRABOU, 1982, pp. 127 y ss.

⁶¹ Esta fuente resulta de gran interés, ya que permite conocer con detalle las características técnicas (potencia instalada,...) así como la empresa constructora de cada máquina de vapor y cada motor instalados. La cata realizada corresponde al fichero de permisos de obras del antiguo municipio de Barcelona entre 1845 y 1897, así como del actual municipio entre esta fecha y 1900. Se han seleccionado las solicitudes firmadas por ingenieros que contienen planimetría. Con respecto al período 1832-1845, que no hemos tratado, la documentación se encuentra en el Archivo Histórico de la Ciudad de Barcelona.

Sobre el resto de los municipios entre 1845 y 1897 no disponemos todavía de estudios de conjunto, si bien los datos reunidos en nuestros trabajos sobre Poblenou, el Ensanche y Les Corts permiten completar con informaciones puntuales algunos de estos aspectos técnicos.





15.11. Proyecto de la Fábrica y Fundición Pro^{dad} de los Sres. Meyerhoff Her^{nos}. Situado en Las Cors [sic] de Sarriá, que con la finalidad de fabricar adornos y fornituras de acero para modistería fue situada en el Ensanche de Barcelona, en 1896, por la Sociedad Española de Aceros Laminados (perteneciente a la empresa Meyerhoff Hermanos, Thompson y Cía.). Planos firmados por el ingeniero industrial Ramón María Martorell y la propiedad; el segundo también por Alexander Hermandos, la empresa fabricante e instaladora del sistema energético. (AMCB, Fomento. Expediente 1.279-Y, año 1896-1897).

1) Emplazamiento general de la fábrica, plano de los bajos (se detalla la situación de los hornos, cuarto de calderas, cuarto de la máquina de vapor, «laminajas», despacho y chimenea) y fachada principal (vista frontal y sección); 2) Sección de los alzados de la instalación en el cuarto de calderas (calderas y hervidores de 4 m de longitud; de los 6, 12 m³ de la caldera, 4,08 corresponden al agua líquida y 2,04 al vapor, mientras que los hervidores tienen 2,25 m³; superficie de calefacción de la caldera 14,1 m² y de los hervidores 14,5 m²; chapa de calderas y hervidores de 12 y 9 mm, respectivamente; presión nominal de trabajo: 5 atmósferas); 3) Fachada posterior / Sección por el centro del cuarto de calderas. Bajo la rasante de calderas se encuentran la caldera, hervidores (debajo del nivel definido por el pavimento de hogar) y cenicero.

des de gas; Alexander Hermanos (28), Juan Antonio Molinas (25) y F. Pucurull (26) como instaladores de máquinas de vapor, y José Playá y Miguel Clavé, con 27 y 20 montajes de electromotores respectivamente.

A lo largo el período estudiado la mayoría de las solicitudes correspondieron a calderas y máquinas de vapor, seguidas de las de gas y, ya en la última década del siglo XIX, en un número todavía muy reducido, las de electromotores, que no llegaron a sustituir a las anteriores⁶².

Ahora bien, según se desprende de la fuente analizada, la labor de estos ingenieros no se limitó a su participación en los sistemas energéticos, sino que las solicitudes nos muestran también su intervención en la construcción de chimeneas, fraguas, fundiciones, hornos y hornillos, alambiques, destilerías y molinos harineros, entre otros muchos tipos de instalaciones productivas. Igualmente, en el citado archivo encontramos la participación de los ingenieros industriales en obras públicas de carácter urbano, en especial trazados de redes ferroviarias y de tranvías, así como abastecimiento de agua, gas y electricidad, que se llevaron a cabo en la ciudad a partir del último tercio del siglo XIX. En este campo los ingenieros industriales tuvieron un gran protagonismo, a menudo en competencia con los de caminos. Por citar un ejemplo podemos mencionar a Félix Maciá Bonaplata, accionista de La Maquinista Terrestre y Marítima e ingeniero director de la sociedad El Veterano, que, a través de la empresa Broca y Cía., intervino entre 1870 y 1875 en el trazado del ferrocarril de Granollers a Vic⁶³. Este protagonismo aumentó en el último tercio del siglo XIX, de tal modo que hemos podido localizar en el archivo cerca de una decena de proyectos firmados por ingenieros industriales; se trata de edificios fabriles de nueva planta o de reforma y ampliación entre los que figuran también naves y proyectos de cocheras de tranvías (Pablo Vallhonrat, Domingo Balet) y de centrales (Narciso Xifra) y subcentrales eléctricas, como la de la Barceloneta, proyectada en 1906 por Ovidio Zaragoza.

V

CONCLUSIONES

Hemos querido presentar en este texto algunos ejemplos poco conocidos o divulgados de construcciones y empresas fabriles, unas desaparecidas y otras todavía presentes en el paisaje de la ciudad de Barcelona. A partir de ellos se ha ofrecido un panorama de la fundamental labor que los ingenieros realizaron en la organización y

⁶² Para conocer con más detalle la coexistencia y la complementariedad de los diferentes tipos de motores y sistemas energéticos véase L. URTEAGA, 1994, pp. 161-164, y A. CALVO, 1989. Una serie de este tipo de instalaciones a fines del siglo XIX, en M. ARROYO, p. 337.

⁶³ P. PASCUAL, 1999, p. 247, y R. GARRABOU, 1982, p. 207.

la puesta en funcionamiento de las fábricas, así como de su participación en la creación de una verdadera cultura industrial de la ciudad.

De esta forma, los espacios industriales, íntimamente ligados a la tarea de los ingenieros, pueden ser considerados más allá de la arquitectura, lo que contribuiría a promover el necesario debate y la reflexión sobre la innovación técnica y sobre los criterios de valoración, conservación e intervención en el patrimonio industrial —técnico y arquitectónico— de la ciudad.

Esperamos haber aportado datos para un mejor conocimiento de paisajes y estructuras industriales desaparecidos o en vías de desaparición, de los que las fábricas fueron los elementos más destacados, pero no los únicos. Este conocimiento es actualmente importante e ineludible, puesto que nos encontramos ante las últimas posibilidades de mantener una parte sustancial del patrimonio, el legado y la cultura técnica de las dos revoluciones industriales decimonónicas, y de realizar su reconstrucción documental y oral, cuando todavía muchos de los protagonistas —antiguos trabajadores, ingenieros y empresarios— conservan su memoria.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR, I.: *El orden industrial en la ciudad: Valencia en la segunda mitad del siglo XIX*, Valencia, Diputación, 1990.
- *Arquitectura industrial: concepto, método y fuentes*, Valencia, Museu Valencià d'Etnologia / Diputación, 1998.
- AJUNTAMENT DE BARCELONA: *Modificació del pla especial de protecció del patrimoni arquitectònic, històric i artístic de la ciutat de Barcelona. Districte de Sant Martí. Patrimoni industrial del Poblenou*, Barcelona, 2006.
- Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, Barcelona, 1899-1929.
- Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, Barcelona, 1901.
- Anuario Estadístico de la Ciudad de Barcelona. Año IV, 1905*, Barcelona, Imprenta de Heinrich y Cía. en comandita, 1907.
- Anuario General de los Ingenieros Industriales de España*, Madrid, Imprenta Colonial, 1913.
- ARAJOL, J.: «Forma racional de los cuchillos de armadura de dos vertientes planas simplemente apoyadas por los extremos», *Revista Tecnológico-Industrial*, 1888. Reproducido también en *Congreso Internacional de Ingeniería*, Barcelona, Imprenta Ortega, 1888.
- ARRAU SANPONS, F.: *Tratado completo de hilatura de algodón*, Barcelona, Administración y Dirección del Plus Ultra, 1855.
- ARROYO, M.: *La industria del gas en Barcelona*, Barcelona, Ediciones del Serbal, 1996.
- ARTIGUES, J., y F. MAS: *El model de casa-fàbrica als inicis de la industrialització: registre de fàbriques al Raval de Barcelona*, inédito, Barcelona, 2005, 2 vols .

- AZCUNE, J.: *Diumenges i festius: Poblenou, un punt de vista. Fotografies, 1975-2004*, Barcelona, Arxiu Històric del Poblenou / 22@, 2004.
- BALAGUER, V.: *Guía de Barcelona a Martorell por ferrocarril*, Barcelona, Imprenta de Jaime Jepus y Ramón Villegas, 1857.
- BAQUÉ, D.: «Can Batlló de Sants: un misteri de nou hectàreas», en *Els vapors a Sants*, Barcelona, Ajuntament, 1997, pp. 39-48.
- BARCA, X., G. LUSA y A. ROCA: «La configuració de l'Escola Industrial», en *L'Escola Industrial de Barcelona (1904-2004): cent anys d'ensenyament tècnic i d'arquitectura*, Barcelona, Diputació / Ajuntament / Consorci Escola Industrial de Barcelona, 2008, pp. 13-27.
- Barcelona artística e industrial*, Barcelona, Establecimiento Gráfico Thomas, 1910.
- BASIANA, X., M. CHECA y J. URPINELL: *Barcelona, ciutat de fàbriques / Barcelona, ciudad de fábricas*, Barcelona, Nau Ivanow, 2000.
- BASSEGODA AMIGÓ, J.: «Empleo del hierro en el interior de las fábricas», *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, 3.ª época, 22/26 (1932), pp. 483-495.
- BASSEGODA NONELL, J.: «La estética de la ingeniería según Félix Cardellach», *Revista de Obras Públicas*, 3178 (febrero-marzo de 1980), pp. 151-152.
- «La obra arquitectónica de Rafael Guastavino en Cataluña (1866-1881)», en S. Huerta (ed.): *Las bóvedas de Guastavino en América*, Madrid, Instituto Juan de Herrera / CEHOPU / CEDEX / Ministerio de Fomento, 2001.
- BONET CORREA, A., F. MIRANDA y S. LORENZO: *La polémica ingenieros-arquitectos en España, siglo XIX*, Madrid, Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, 1985.
- BOUZA, J.: «La industria en la ciudad. Los esfuerzos de la Sociedad Económica Barcelonesa de Amigos del País para armonizar los intereses del progreso industrial y el bienestar ciudadano (1820-1880)», *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, X/218 (47) (1 de agosto de 2006), <<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-47.htm>>.
- CABALLÉ, F., y A. NICOLAU: «Industria i ciutat a la primera meitat del segle XIX: anàlisi comparada de localització industrial a la Barcelona de 1820, 1846 i 1856», en *III Congrés d'Història de Barcelona*, Barcelona, Ajuntament, 1993, vol. II, pp. 481-500.
- y R. GONZÁLEZ y T. NAVAS: «Un catàleg d'arqueologia Industrial: el cas del Poblenou», en *I Jornades d'Arqueologia Industrial de Catalunya*, L'Hospitalet de Llobregat, 1991, pp. 39-43.
- CABANA, F.: *Fabricants i empresaris*, Barcelona, Enciclopedia Catalana, 1992-1994, 4 vols.
- S. A. Damm: *mestres cervesers des del 1876*, Barcelona, Angle, 2001.
- CALVET DE BUDALLES, D.: *Fabricación de hielo por el sistema de Mr. Carré*, Barcelona, Imprenta de Luis Tasso, 1862.
- CALVO, A.: «La modernización de la industria en Barcelona», en *Historia urbana del Pla de Barcelona*, Barcelona, Ajuntament, 1989, vol. I, pp. 463-499.

- CAMPOS, A., y J. R. PASTOR: «La industria en la ciudad. El caso del ensanche de Barcelona», en *La manzana como idea de ciudad: elementos teóricos y propuestas para Barcelona*, Barcelona, 2C, 1982, pp. 123-134.
- CAMPS Y ARMET, C.: *Diccionario industrial (artes y oficios de Europa y América)*, pról. de Ramón Manjarrés, Barcelona, Elías y Cía., 1888-1891, 6 vols..
- CAPEL, H.: «Estado, administración municipal y empresa privada en la organización de las redes telefónicas de las ciudades españolas, 1877-1924», *Geo Crítica*, 100 (diciembre de 1994a).
- (dir.): *Las tres chimeneas*, Barcelona, Fecsa, 1994b, 3 vols..
- *La morfología de las ciudades*, Barcelona, Ediciones del Serbal, 2002 y 2005, 2 vols.
- y M. TATJER: «La organización de la red telegráfica española», en H. Capel, J. M.^a López Piñero y J. Pardo: *Ciencia e ideología en la ciudad*, Valencia, Generalitat Valenciana, 1992, vol. I, pp. 25-69.
- y M. TATJER: «La innovación tecnológica en la ciudad: el telégrafo en Barcelona», en *Tiempo y espacio en el arte: homenaje al profesor Antonio Bonet Correa*, Madrid, Editorial Complutense, 1994.
- y M. TATJER: «Ildefonso Cerdá y la instalación del telégrafo en Barcelona», en H. Capel y P.-A. Linteau: *Barcelona-Montreal: desarrollo urbano comparado / Barcelone-Montréal: développement urbain comparé*, Barcelona, Universidad, 1998, pp. 179-200.
- y M. TATJER: «Reforma social, serveis assistencials i higienisme a la Barcelona de final del segle XIX (1876-1900)», en A. Roca (coord.): *Cent anys de salut pública a Barcelona*, Barcelona, Ajuntament, 1991.
- CARDELLACH, F.: *Las formas artísticas en la arquitectura técnica: tratado de ingeniería estética*, Barcelona, Librería de Agustín Bosch, 1916; ed. facs., a cargo de J. Sobrino, Bilbao, Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos, 2007.
- CHECA ARTASU, M.: «Patrimoni industrial i transformacions de ciutat. Exemples al districte de Sant Andreu», *Miscel·lània Martí Pous y Serra (1910-1997). Finestrelles*, 12 (2002a), pp. 77-95.
- (coord.): *Poblenou: la fàbrica de Barcelona*, Barcelona, Ajuntament, 2002b.
- «Indústries transformades: nous espais de cultura, educació i oci a Barcelona», en R. M.^a Fraguell, R. Llusà y A. Ribas (eds.): *Nous usos per a antics espais industrials*, Girona, Universitat / Museo Industrial del Ter, 2003, pp. 205-217.
- CIRICI PELLICER, A.: «El edificio de la editorial Montaner y Simón (1881-1884)», *Cuadernos de Arquitectura*, n.º 52-53 (1963), pp. 26-33.
- «Arqueologia industrial i observació de la Terra», *Serra d'Or*, n.º 222 (15 de marzo de 1978), pp. 49-53.
- CORNET, M.: *Carta a l'avi. (El pont de Sant Petersburg)*, Barcelona, Marré, 2002.
- CORNET Y MAS, C.: *Guía de Barcelona*, Barcelona, Librería de Eudaldo Puig, 1882.
- CORREDOR MATHEOS, J., y J. M.^a MONTANER: *L'arquitectura industrial a Catalunya, 1732-1929*, Barcelona, Caixa de Catalunya, 1984.

- DÍAZ, J.: «Aproximació als jardins de Can Ricart», en M. Tatjer *et al.*: *Estudi patrimonial del recinte de can Ricart: inventari arqueològic i proposta de conservació*, Barcelona, Fundació Tàpies / Projecte Majories Urbanes, 2007.
- DOMÈNECH, E.: «L'arquitectura dels magatzems de taronja», en *La fruita daurada: 750 anys amb taronges*, València, Generalitat Valenciana, 1989, pp. 91-120.
- DURAN PINEDA, R.: «Manufactura dels Gobelins: la seva importància en el context de la tintura a la perifèria europea en el llindar del segle xx», en *Actes d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, 2008, vol. 1, pp. 177-184.
- El Mercurio*, Barcelona, 1901.
- ENRECH, C.: *Entre Sans i Sants: història social i política d'una població industrial a les portes de Barcelona (1839-1897)*, Barcelona, Ajuntament, 2004.
- FELIU, A., y F. CABANA: *Can Torras dels ferros: 1876-1985*, Barcelona, Tallers Gràfics Hostench, 1987.
- y A. VILANOVA: *Ferros que forgen la modernitat*, Barcelona, Museo d'Història de la Ciutat / Ajuntament, 2011.
- FORCADELL, C.: «Industria y fábricas en la Zaragoza del final de la época isabelina. Análisis del sector a través de la "Matrícula industrial y de comercio" correspondiente al año 1864-1865», en A. Ubieto (coord.): *Estado actual de los estudios sobre Aragón. (Actas de las segundas jornadas, celebradas en Huesca del 19 al 21 de diciembre de 1979)*, Zaragoza, Universidad, vol. II, pp. 783-790.
- FORONDA, M. de: *Ensayo de una bibliografía de los ingenieros industriales*, Madrid, Estades, 1948.
- Gaietà Cornet i Palau (1878-1945): exposició homenatge*, Barcelona, Associació / Col·legi d'Enginyers Industrials de Catalunya, 1995.
- GARCÍA ESPUCHE, A.: *El Quadrat d'Or*, Barcelona, Olimpíada Cultural Barcelona 92 / Lunwerk, 1990.
- GARRABOU, R.: *Enginyers industrials, modernització econòmica i burgesia a Catalunya (1850- inicis del segle xx)*, Barcelona, L'Avenç / Col·legi d'Enginyers Industrials, 1982.
- GRAUS, R., *et al.*: «Arquitectura», en *L'Escola Industrial de Barcelona (1904-2004): Cent anys d'ensenyament tècnic i d'arquitectura*, Barcelona, Diputació / Ajuntament / Consorci Escola Industrial de Barcelona, 2008.
- GRUP DE PATRIMONI INDUSTRIAL DEL FÒRUM DE LA RIBERA DEL BESÒS (S. CLARÓS *et al.*): «Proposta de Pla de Patrimoni Industrial de Barcelona: nou projecte», *Biblio 3W: Revista Bibliogràfica de Geografia y Ciencias Sociales*, X/581 (5 de mayo de 2005) <<http://www.ub.edu/geocrit/b3w-581.htm>>.
- GUTIÉRREZ, M.^a LL.: «La España Industrial. Los materiales estructurales: la madera», en *Actas del VIII Congreso Internacional para la Conservación del Patrimonio Industrial*, Madrid, CEHOPU / Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1995, pp. 237-246.

- GUTIÉRREZ, M.^a LL.: «La España Industrial: un model d'innovació tecnològica», en J. Maluquer: *Tècnics i tecnologia en el desenvolupament de la Catalunya contemporània*, Barcelona, Enciclopedia Catalana, 2000.
- Instituto Provincial de Segunda Enseñanza. Memoria del discurso de inauguración del curso 1860-1861*, Barcelona, Imprenta y Librería Politécnica de Tomás Gorchs, 1860.
- «L'arquitectura a les fàbriques», *Arquitectura i Urbanisme*, año III, 3 (enero de 1933), s. p.
- «La formació professional i les transformacions socials i econòmiques», en *Actes de les XIV Jornades d'Història de l'Educació als Països Catalans*, Mataró, Ajuntament, 1999.
- LUSA, G.: «Industrialización y educación: los ingenieros industriales (Barcelona, 1851-1886)», en *Tècnica i societat en el mon contemporani*, Sabadell, Museu d'Història, 1994, pp. 64-65.
- MARTORELL, J.: «Estructuras de ladrillo y hierro atirantado en la arquitectura catalana moderna», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, 1910, pp. 119-146.
- MARTORELL, M., y M. URBIOLA: «Ritmes i formes d'un model de fàbrica innovador. Maqueta virtual de Can Ricart», en Grup de Patrimoni Industrial del Fòrum de la Ribera del Besòs: *Can Ricart: patrimoni, innovació i ciutadania*, I: *Estudis i propostes*, Barcelona, Fundació Tàpies / Projecte Majories Urbanes, 2006, s. p.
- Memoria sobre la creación de un politécnico en Barcelona*, Barcelona, Tipografía L'Avenç, 1902.
- MONES PUJOL-BUSQUETS, J.: *Les escoles professionals municipals, 1890-1990*, Barcelona, Ajuntament, 1991.
- MONTANER, J. M.^a: *L'ofici de l'arquitectura, Barcelona*, Barcelona, Universitat Politècnica, 1983.
- MUNTADES, M.: *Anotacions d'una fàbrica de filatura de cotó, «Viuda e Hijos de Esteban Recolons» (Sant Martí de Provençals, Barcelona)*, ejemplar mecanografiado depositado en el Archivo Municipal del Distrito de Sant Martí, Barcelona, 2002.
- MURO, I., y H. CAPEL: «La central térmica de la calle Mata», en H. Capel (dir.): *Las tres chimeneas*, Barcelona, Fecca, 1994, vol. I, pp. 103-139.
- NADAL, J.: *Catalunya, la fàbrica d'Espanya: 1833-1936*, Barcelona, Ajuntament, 1985.
- «Les màquines de vapor fitxes de La Maquinista Terrestre y Marítima, S. A.», en J. Maluquer: *Tècnics i tecnologia en el desenvolupament de la Catalunya contemporània*, Barcelona, Enciclopedia Catalana, 2000, pp. 234-241.
- y X. TAFUNELL: *Sant Martí, pulmó industrial de Barcelona*, Barcelona, Columna, 1992.
- OLIVA, B.: «La febre d'or i Guastavino a Vilassar de Dalb», *Singladures*, 25 (2009), pp. 59-78.
- ORELLANA, F. J.: *Reseña completa descriptiva y crítica de la exposición industrial y artística improvisada en Barcelona para obsequiar a S. M. la reina Isabel II y a su real familia*, Barcelona, J. Jepus, 1860.

- ORIOI BERNADET, J.: *Instituto de Segunda Enseñanza de la provincia de Barcelona. Memoria leída en la solemne abertura del curso académico de 1859-1860*, Barcelona, Imprenta y Librería Politécnica de Tomás Gorchs, 1859.
- PASCUAL, P.: *Los caminos de la era industrial*, Barcelona, Universidad, 1999.
- PÉREZ, A.: «Indústria i poder. La Maquinista Terrestre y Marítima durant el Sexenni Democràtic», comunicació inédita presentada al *IX Congreso de Historia de Barcelona*, Barcelona, 2005.
- «La Maquinista Terrestre y Marítima, una empresa pionera de la industrialización barcelonesa», en R. Grau (coord.): *La ciutat i les revolucions, 1808-1868*, II: *El procés d'industrialització*, Barcelona, Ajuntament, 2006, pp. 187-210.
- «Josep M.^a Cornet i Mas, director de La Maquinista Terrestre y Marítima», en *X Congrés d'Història de Barcelona*, inédito, Barcelona Ajuntament / Seminari d'Història de Barcelona, 2007.
- y R. GIRALT: *Josep Cornet i Mas, enginyer i polític*, Barcelona, Associació d'Enginyers Industrials de Catalunya, 1994.
- «Politécnico de Barcelona», *Revista de Obras Públicas*, año I, 1395 (19 de junio de 1902), pp. 514-516.
- PORTOLÉS BRASO, F.: *Fotografía y radiología en la obra del doctor César Comas Llabe-ria*, tesis doctoral, Universidad de Barcelona, 2004.
- SÁNCHEZ SUÁREZ, S.: «Una indústria de l'Eixample: la fàbrica de nines Lehmann y Cía.», en X. Basiana, M. Checa y X. Urpinell, 2000, pp. 167-169.
- SANZ, J. A., y J. GINER: *L'arquitectura de la indústria a Catalunya: segles XVIII-XIX*, Terrassa, ETSAV, 1984.
- SINTES BOU, M.: *Can Saladrigas, 146 anys després: memòria d'una fàbrica*, Barcelona, Ajuntament, 2004.
- SOBRINO, J.: *Arquitectura industrial en España*, Madrid, Cátedra, 1996.
- SOLÁ, A.: «La producción siderúrgica de materiales para la construcción y mobiliario urbano. Sus comienzos en Barcelona», en *I Jornadas sobre Protección y Revalorización del Patrimonio*, Bilbao, Gobierno Vasco, 1984.
- «La societat barcelonina en una època de canvis», en R. Grau (coord.): *La ciutat i les revolucions, 1808-1868*, II: *El procés d'industrialització*, Barcelona, Ajuntament, 2006, pp. 39-68.
- TARRAGÓ, S.: «Consideraciones sobre la obra de Guastavino», en S. Tarragó (ed.): *Guastavino Co. (1885-1962): registre de l'obra a Catalunya i Amèrica*, Barcelona, Col·legi d'Arquitectes de Catalunya, 2002.
- TATJER, M.^a: «Cuando Barcelona era una gran fábrica», en X. Basiana, M. Checa y X. Urpinell, 2000, pp. 154-163.
- «Josep Oriol Bernadet (1811-1860) i la seva aportació a la ciència, la tècnica i l'arquitectura del segle XIX», *Biblio 3W: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, X/582 (10 de mayo de 2005), <<http://www.ub.edu/geocrit/b3w-582.htm>>.

- TATJER, M.^a: «La industria en Barcelona (1832-1992). Factores de localización y cambio en las áreas fabriles: del centro histórico a la región metropolitana», *Scripta Nova: Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales*, X/218 (46) (1 de agosto de 2006), <<http://www.ub.edu/geocrit/sn/sn-218-46.htm>>.
- «La indústria a l'Eixample de Barcelona: el sector de Sant Antoni (1860-1874)», en R. Grau: *Cerdà i els altres: la modernitat a Barcelona, 1854-1874*, Barcelona, Ajuntament, 2009, pp. 279-302.
- «El ferro al paisatge urbà: els pilars de fosa dels edificis residencials de Barcelona (1840-1930)», en A. Feliu y A. Vilanova: *Ferros que forgen la modernitat*, Barcelona, MUHBA, 2011.
- y M. URBIOLA: «Can Ricart. Estudi patrimonial (síntesi)», *Biblio 3W: Revista Bibliogràfica de Geografia y Ciencias Sociales*, X/598 (30 de julio de 2005) <<http://www.ub.edu/geocrit/b3w-598.htm>>.
- y M. URBIOLA: «La Maquinista Terrestre y Marítima, y Arquitectura industrial de Macosa (Can Girona)», en *De la Revolución Industrial a la Revolución Tecnológica: 150 años de historia de La Maquinista Terrestre y Macosa*, Barcelona, Fundació Museu Històric-Social de la Maquinista Terrestre i Marítima / Macosa, 2009, pp. 100-123 y 184-199.
- y A. VILANOVA: *La ciutat de les fàbriques: itineraris industrials de Sant Martí*, Barcelona, Ajuntament, 2004.
- A. VILANOVA e Y. INSA: *Memòria del passat industrial de Les Corts*, Barcelona, Ajuntament, 2005.
- A. VILANOVA e Y. INSA: «Creixement urbà i primeres implantacions fabrils a Les Corts», en R. Grau (coord.): *La ciutat i les revolucions, 1808-1868*, II: *El procés d'industrialització*, Barcelona, Ajuntament, 2006, pp. 239-256.
- TORRAS GUARDIOLA, J.: «La importancia de los materiales y las formas», discurso pronunciado en el *II Congreso Nacional de Arquitectos de 1888*, Barcelona, Tipografía la Academia, 1889, pp. 89-109.
- «Conferencia sobre la elaboración del hierro» (Barcelona, 22 de mayo de 1897), *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, 1898.
- «Cuchillo parabólico. Sistema del arquitecto D. Juan Torras», *Anuario de la Asociación de Arquitectos de Cataluña*, 1900.
- URTEAGA, L.: «Producción térmica y expansión de la red eléctrica», en H. Capel (dir.): *Las tres chimeneas*, Barcelona, Fecea, 1994, vol. I, pp. 143-169.
- VILANOVA, A., J. OLONA y E. SIMÓ: *La indústria textil de Ca l'Aranyó (1872-1997)*, trabajo premiado en la 7.^a convocatoria de los Premios Bonaplata d'Estudis, Barcelona, 1997.
- VILLAR, J. E.: *Catedrales de la industria*, Baracaldo, Librería San Antonio, 1994.
- YESARES BLANCO, R.: *Anuario de la electricidad*, Barcelona, Bailly-Baillière, 1901.

Teoría y prácticas en la construcción de la ciudad burguesa

Josefina Gómez Mendoza
Universidad Autónoma de Madrid

I

PRECOCIDAD Y SINGULARIDAD DE LA TEORÍA URBANA ESPAÑOLA DEL OCHOCIENTOS

Se ha llamado la atención a menudo tanto sobre la precocidad de la teoría urbanística en España como sobre la originalidad del urbanismo de ensanche de las poblaciones. Martín Bassols Coma, el mejor estudioso de la historia de nuestro derecho urbanístico, lo expresa en estos términos: «¿Cómo explicar [la] aparente paradoja de que un país con unos índices de industrialización y urbanización bajos disponga, no obstante, de una precoz legislación urbanística y, lo más significativo, que un español haya legado al mundo la palabra *urbanización* y nada menos que el primer y fundacional tratado urbanístico con su obra titulada *Teoría general de la urbanización*? [Se refiere, claro está, a Ildefonso Cerdá]»¹. Por su parte, el urbanista Manuel Solà-Morales considera que tiene sentido hablar de urbanismo español decimonónico por las nuevas ideas sobre el urbanizar y el cambio de carácter de la ciudad, aunque limitado al período temporal de 1840-1870, y con cuatro hitos: la orden de alineaciones de 1846, el plan de la *Memoria del ensanche de Barcelona* de 1858, los ensanches de Madrid, Barcelona y San Sebastián, en los años sesenta, y la ley de vivienda de 1861-1864 (ley hipotecaria). «Cuatro momentos —añade Solà— que seguramente resisten con ventaja la comparación internacional, mostrando, a la vez que ciertos avances técnicos absolutos, unas acusadas características específicas de origen»². Ya lo había dicho en 1899 el ingeniero Pablo Alzola, el primero en historiar las obras públicas en España: «aventajamos a los países extranjeros, y especialmente a Francia, en el mecanismo de ensanches, que desconocen casi en absoluto [...] pudiendo ostentar la magnífica urbanización de Barcelona como verdadero modelo para crear nuevas poblaciones, y

¹ M. BASSOLS, 1996a, p. 19.

² M. SOLÀ-MORALES, 1986, p. 161.

otros ejemplos de menor importancia en otras ciudades y villas españolas»³. En suma, concluye Bassols, es la legislación de ensanche (1864) la que significa cierta anticipación y prioridad cronológica en el marco del derecho urbanístico comparado, si se tiene en cuenta que el Town Planning Act británico es de 1909 y la legislación francesa de 1914⁴.

El enorme vigor de la teoría cerdiana, ratificada por las recientes publicaciones de su *Teoría de la construcción de ciudades*, aplicada a Barcelona, o de la *Teoría de la viabilidad*, aplicada a Madrid, explica que sean numerosos los autores foráneos que se han rendido a la evidencia de la revolución doctrinal protagonizada en el campo de lo urbano por los ingenieros. Françoise Choay, en *La règle et le modèle*, de 1980, enmendaba en parte el olvido —imperdonable— de Cerdá de que había hecho gala en su primer libro de 1965⁵, considerando la *Teoría* como paradigma fundador del urbanismo moderno, aunque sin descendencia directa⁶. Más terminante aún se muestra André Corboz, para quien es claro que, mientras que el siglo xx político se habría retrasado hasta 1914, el urbanístico habría empezado, sin duda, con la publicación en 1859 de la *Teoría general de la urbanización*. «El siglo xx del urbanismo nació en Barcelona con ocho lustros de antelación [sobre el siglo histórico-político]»⁷. Por extensión, la teoría, la práctica y la legislación de ensanche constituirían la anticipación singular del urbanismo y de la legislación comparados.

Este punto de vista es correcto y tiene la virtud de ayudar a resolver la flagrante injusticia cometida, por su siglo en general y por la ciudad de Barcelona en particular, con el ingeniero de caminos Ildelfonso Cerdá, considerado por Fabián Estapé como figura descomunal de la ingeniería, de la ciencia urbana y de la doctrina social⁸. Recientemente se han multiplicado los estudios sobre Cerdá y los ensanches —sobre todo desde que se han publicado sus obras hasta hace poco desconocidas—, aclarando muchas cosas y agigantando cada vez más su figura⁹. El único problema a que pueden dar lugar es el de que Cerdá acabe ocupando todo el espacio, oscureciendo al resto de los hechos y tapando a los demás protagonistas, sin duda menos brillantes, pero indispensables para entender el contexto en el que se gestó la transformación doctrinal y técnica sobre la ciudad.

³ P. ALZOLA, 1979, p. 398.

⁴ M. BASSOLS, 1996a, p. 19.

⁵ F. CHOAY, 1961.

⁶ F. CHOAY, 1980, pp. 285-286.

⁷ A. CORBOZ, 2001, p. 109.

⁸ F. ESTAPÉ, 1999, p. 19.

⁹ Muy especialmente el número doble, especial y monográfico, de *Ciudad y Territorio*, 119-120 (1999) sobre Cerdá y su influjo en el ensanche de las poblaciones, concebido y dirigido por el director de la revista, J. GARCÍA-BELLIDO, 1999. Con posterioridad ha sido reeditado por el Ministerio de Fomento (2004).

En efecto, el alumbramiento de la teoría de los ensanches, su desarrollo y la voluntad de convertir el patrón de ensanche en ley general de planeamiento y ordenamiento urbanísticos puede llevar a pasar por alto otras facetas y a ocultar los matices de una realidad más compleja. En este sentido, debemos interrogarnos sobre algunas de las dualidades y contraposiciones que se repiten de forma rutinaria, como por ejemplo el desarrollo de los ensanches en oposición a la reforma interior de los cascos. Pero no solo esta: se suelen contraponer también el urbanismo progresista y el urbanismo conservador; la tensión entre una Administración muy centralizada y la voluntad de los ayuntamientos de decidir su configuración física; sin olvidar la guerra de competencias, dentro del Gobierno, en lo relativo a las cuestiones urbanas, entre el Ministerio de Fomento y el de Gobernación, entre las juntas consultivas de obras públicas, que pertenecían al primero, y las juntas consultivas de policía urbana, del segundo; ni el persistente conflicto de intereses y de concepciones entre ingenieros de caminos y arquitectos. Todos estos enfrentamientos son ciertos, pero la fuerza de la contraposición no debe impedir mirar a otros artífices de lo urbano durante el Ochocientos.

Hay autores que ya han alertado sobre las lecturas lineales y duales. Manuel Solà-Morales, uno de los mejores estudiosos de los ensanches y sensible al urbanismo progresista, reconoce, sin embargo, que los ensanches no deben ocultar las transformaciones radicales que experimentaron las ciudades, como tampoco los teóricos y prácticos «progresistas», como Cerdá, deben hacer olvidar enteramente la importancia de las concepciones urbanas «conservadoras», como, por ejemplo, la de Ramón Mesonero Romanos. Sería en el eclecticismo de la cultura dieciochesca y de la economía liberal, en la mezcla de sensibilidad romántica y de ilusión progresista, donde se habrían fraguado los grandes cambios que harían moderno el panorama de las ciudades españolas y que son los que se llevan a cabo desde el decenio democratizador de los años treinta del siglo XIX, al morir Fernando VII¹⁰. Por su parte, el geógrafo francés Laurent Coudroy de Lille, que ha estudiado de modo comparado los ensanches, piensa que hay que rechazar la visión exclusiva de Cerdá, porque se produjeron en España otras experiencias urbanísticas distintas de la de Barcelona; considera que situar la obra cerdiana en su contexto no significa disminuir su figura, sino entenderla mejor.

La presentación habitual de la historia urbana decimonónica española se puede resumir en los siguientes términos. Desde mediados de siglo se habría producido un desplazamiento desde el centro de la ciudad hacia los márgenes: los ensanches se ven como formas de asumir la imposibilidad de la reforma de la ciudad consolidada; una segunda etapa, que cubriría los años sesenta y setenta, correspondería al desarrollo del planeamiento y la legislación de ensanche; finalmente, al terminar el siglo, nuevos intentos legislativos y técnicos de reforma interior podrían suponer el agotamiento de las políticas de ensanche y el avance de un urbanismo prioritariamente de saneamiento.

¹⁰ M. SOLÀ-MORALES, 1986, p. 162.

Coincidió con Coudroy de Lille en que una presentación historiográfica de este tipo, sin ser incorrecta, adolece de una oposición demasiado resaltada entre dos estrategias urbanas posibles. «Un trabajo más preciso sobre las fuentes del siglo XIX muestra una mayor complejidad de opciones y atenúa algo la evidencia de esta alternativa»¹¹. La aprobación de los ensanches no habría supuesto en absoluto el abandono de las reformas interiores, del mismo modo que el urbanismo de la época haussmaniana tampoco supuso un punto final al desplazamiento del centro de París. De ahí que el autor proponga avanzar en la lectura de esa «literatura gris», mucho menos conocida que la de Cerdá pero que estaba planteando coetáneamente cuestiones parecidas.

Eso es lo que se pretende hacer esta vez, prolongando lo que ya intentamos en ocasiones anteriores¹²: leer a Cerdá y demás grandes autores, ingenieros y arquitectos, en paralelo con escritos menos conocidos, proyectos y artículos, documentación administrativa y de archivo, teniendo en cuenta a la vez algunas realizaciones prácticas. La finalidad es esclarecer cómo se avanza en el aparato conceptual y técnico que lleva de reformas y mejoras urbanas parciales que, por intensas que fueran, no afectaban básicamente al tejido heredado, a actuaciones más drásticas que suponen demoliciones importantes partiendo del diagnóstico de la incompatibilidad de la trama con las condiciones de circulación y de higiene que requiere la nueva vida social y económica, liberada de las trabas del Antiguo Régimen. Además, las nuevas infraestructuras viarias y ferroviarias, llamadas a reforzar la organización radial del territorio, imponían condiciones a las travesías urbanas y a las ciudades como soportes de las estaciones de ferrocarril. De modo que la movilidad constituye una clave del urbanismo del Ochocientos.

Este capítulo gira, en definitiva, en torno a los enunciados del gran proyecto de ley que no llegó a ver la luz pero que constituye el primer intento de considerar de modo unitario la problemática urbanística; en palabras de Bassols, «el texto urbanístico más completo y ambicioso que se elaboró en España»¹³, y, sin embargo, prácticamente desconocido: el proyecto de ley general para la reforma, el saneamiento, el ensanche y otras mejoras de la población de Posada Herrera (1861). En él se incluye la tipología de las actuaciones urbanísticas del Ochocientos: la «reforma» como conjunto de obras que se emprenden en el interior de las poblaciones con el objeto de prolongar o suprimir alguna de sus partes (art. 2); el «saneamiento» entendido como las obras que se llevan a cabo para el desecamiento de terrenos, la supresión de habi-

¹¹ L. COUDROY DE LILLE, 1999, pp. 236-237.

¹² Este fue el asunto que desarrollé en mi discurso de ingreso en la Real Academia de Ingeniería en marzo de 2006. Retomo ahora aquel texto, resumiendo o suprimiendo unas partes y ampliando otras (como, por ejemplo, lo realizado por la Junta de Urbanización de finales del Ochocientos) apoyándome en nueva investigación original. J. GÓMEZ MENDOZA, 2006a. También, J. GÓMEZ MENDOZA, 2006b.

¹³ M. BASSOLS, 1973, p. 186.

taciones o barrios insalubres, la construcción de alcantarillas y la ventilación de manzanas o cuarteles (art. 3); el «ensanche», que son las obras destinadas a proporcionar mayor extensión a las poblaciones para su desarrollo y engrandecimiento (art. 4); y la «mejora» u obras de ensanche o rectificación de calles y cualesquiera otras que se dirijan a aumentar y facilitar el tránsito público en el interior de las poblaciones y a su desahogo, seguridad y embellecimiento.

El proyecto de ley se frustró porque encontró mucha oposición por parte de los propietarios del suelo. Y eso nos debe recordar siempre algo sustancial en el urbanismo del Ochocientos, por mucho que no sea nuestro tema central: como bien dice el citado autor, el siglo XIX fue ante todo en España el de la emancipación de la propiedad. Desde las Cortes de Cádiz con la abolición de los señoríos, y posteriormente con las desamortizaciones y la supresión de los mayorazgos, la tierra entró en circulación, y el régimen constitucional se ocupó de garantizar la propiedad privada. El Estatuto Real de 1834 garantizaba la inviolabilidad de la propiedad privada y reconocía el principio de la expropiación forzosa con indemnización: todas las actuaciones urbanísticas que exigieran sacrificios a la propiedad privada deberían canalizarse a través de los mecanismos de indemnización. La cuestión de las indemnizaciones a la propiedad y del reparto de cargas iba así a gravitar sobre toda la legislación y la práctica urbanísticas del XIX. Si fracasó el proyecto de ley de Posada Herrera fue porque contenía como novedad radical una regulación del derecho de propiedad mediante un sistema de limitaciones del dominio. Cerdá incorporó muchos de sus principios en la parte económica del ensanche de Barcelona que, como es sabido, no fue tomada en cuenta.

Fue a partir del fracaso de la ley general de Posada Herrera cuando se empezaron a abordar los temas urbanos desde una perspectiva dual, primero la Ley de Ensanche y mucho más tarde la Ley de Reforma Interior y de Saneamiento, lo que supone en la práctica una doble actuación, en el interior y en el ensanche, que se perpetuará hasta la Ley del Suelo de 1956. Es en suma esta tardía disociación la que singulariza al urbanismo español del siglo. Pero el espíritu del Ochocientos, sus lenguajes, conceptos, métodos y proyectos, están más en la propuesta de Posada Herrera y en los autores que la inspiraron que en esta doble vía. Por eso trataremos de recuperar en este capítulo ese espíritu de tratamiento unitario de la ciudad.

II

LOS TÉCNICOS EN LA CIUDAD

II.1. *Cartografiar la ciudad para ordenarla: de la tira de cuerdas al plan de remodelación*

Los planes geométricos de población mandados levantar por Real Orden de 25 de julio de 1846 emanada del Ministerio de Gobernación, y sobre ellos los de alineaciones, supusieron una nueva visión del territorio, que pasa a ser susceptible de ser

medido, ordenado y regularizado¹⁴. Constituyeron, además, la ocasión para la entrada en el mundo urbano de los ingenieros, por ser los más capaces de proponer la representación planimétrica previa a la obra pública. Como ya había pasado en Francia, ocurre entonces en España un hecho clave para la ingeniería y el urbanismo: van a ser las mismas personas las que reflexionen a la vez sobre la organización de la red de transportes a escala nacional y la organización de las redes en el interior de las ciudades, vías, distribución y evacuación de las aguas¹⁵. Para Martín Bassols el hecho de que se asimilen, conceptual y profesionalmente, la vialidad urbana y sus alineaciones con las obras públicas generales (camino, carreteras y ferrocarriles) marca la evolución del urbanismo en la mayoría de los países europeos, y también en España, aunque en momento más tardío y con caracteres propios. Esta asimilación tuvo lugar tanto en el plano técnico como en el jurídico, de coordinación y de gestión¹⁶.

En el Antiguo Régimen prevalecía la policía urbana, aunque se había ido produciendo progresivamente una regulación estatal de las materias que le eran propias: seguridad, salubridad, ornato de las poblaciones y, sobre todo, sujeción de las construcciones y reedificaciones a alineaciones indicadas por la autoridad municipal. Esta creciente mediatización de la policía urbana por el poder central obedecía en parte a razones militares; en efecto, en el contexto bélico de los primeros decenios del siglo se reabrió la disyuntiva entre ciudad abierta y ciudad cerrada: frente a los que veían en murallas y cercas un elemento defensivo indispensable, se fue alzando la opinión de que eran inútiles y se les responsabilizó de la densificación de los cascos y de la carestía de los alquileres. Por otra parte, la Academia de San Fernando tenía preceptivamente que informar sobre toda obra pública urbana.

Las disposiciones desamortizadoras y, en particular, el Real Decreto de 25 enero 1836, que regulaba lo que había de hacerse con los edificios que fueran monasterios y conventos, contenían intenciones explícitas de reforma urbana: se preveía destinar los edificios religiosos a cuarteles, hospitales y cárceles, así como trazar nuevas calles, ensanchar las existentes, y construir plazas y mercados de nueva planta. Pero las urgencias políticas, la primera guerra carlista, anularon estas intenciones de reforma y la desamortización general de 1855 ya no mostraba estas preocupaciones, al tiempo que los propietarios de la tierra entraban en el mercado del suelo con celo y afán especulativo.

Lo importante de la disposición de 1846 sobre el plano geométrico es que en absoluto se queda en un mero ejercicio cartográfico, sino que constituye la transposición completa y adaptada del modelo francés de alineaciones, con su objetivo de planes urbanos, de realización forzosa a cargo de técnicos y de supervisión necesaria por parte del Ministerio. En efecto, la ley napoleónica de 16 de septiembre 1807 sobre elaboración por las ciudades de planos generales de alineaciones y otorgamiento de ali-

¹⁴ M. BASSOLS, 1996a, p. 23.

¹⁵ M. RONCAYOLO, 1983, p. 93.

¹⁶ M. BASSOLS, 1996a, p. 24.

neaciones singulares establecía el tratamiento patrimonial de las mismas y sus transformaciones, así como la necesidad de que los ayuntamientos tramitaran sus planes ante los prefectos, y todo ello con nuevos requisitos de precisión cartográfica y medidas topográficas y geodésicas.

Para evitar los conflictos que suelen ocurrir con motivo de la construcción de edificios de nueva planta y reedificación de los antiguos, S. M. la Reina se ha servido mandar que los Ayuntamientos de los pueblos de crecido vecindario [...] hagan levantar el plano geométrico de la población, sus arrabales y paseos, trazándolos, según su estado actual, en escala de uno por mil doscientos cincuenta; que en el mismo plano se marquen con líneas convencionales las alteraciones que hayan de hacerse para la alineación futura de cada calle, plaza, etc.; que verificado esto se exponga al público [...] y fije la Corporación las nuevas alineaciones sobre el plano [...] elevándolo con su informe a este Ministerio [...]. Quiere también S. M. que los Ayuntamientos que no tengan arquitectos titulares asalariados encarguen el levantamiento del plano a los de otros pueblos, a ingenieros y otros facultativos. Madrid 25 de julio de 1846. (R. O. Gobernación).

La empresa tenía, pues, una gran envergadura, y se daba un año de plazo para la presentación de los planos en el Ministerio. Las capacidades cartográficas de los ingenieros españoles se habían renovado con motivo de la colaboración con los cartógrafos franceses durante la campaña de los Cien Mil Hijos de San Luis; los franceses habían adquirido el compromiso de dejar copia de los mapas en el Depósito de Guerra. Mientras que los ingenieros militares de principios del siglo XIX, con una concepción plenamente defensiva de la representación, no parecían interesados por el territorio, no ocurría lo mismo en los años treinta y cuarenta, como prueba el atlas de Coello, muchos de cuyos mapas provinciales se basaron en los mapas franceses, como el de los alrededores de Madrid¹⁷.

De modo que los ingenieros civiles son llamados, junto con los militares y los arquitectos, a representar la ciudad a gran escala con el fin de reformarla. Este es un hecho crucial del Ochocientos, pero ni será inmediato ni estará exento de problemas. Quizá el ejemplo más expresivo de las vicisitudes experimentadas sea lo ocurrido con Barcelona y el encargo hecho en 1854 a Cerdá de levantar el plano topográfico del Pla. Merece recordarse aunque no puedo entrar en detalles¹⁸. Entre 1846 y 1853, la Brigada Topográfica y de Ensanche del Cuerpo de Ingenieros militares elaboró una primera y muy precisa cartografía geométrica de Barcelona y sus alrededores, planos que quizá no fueron usados por Cerdá, pero sí por Coello. Por otra parte, también se habían levantado planos del llano de Barcelona por impulso de los trabajos catastrales a cargo de la Comisión Provincial de Estadística. Cerdá prefirió ignorarlos por incom-

¹⁷ Investigaciones recientes han puesto de manifiesto cuánto debe la cartografía española a la gran labor realizada por el Bureau Topographique de l'Armée d'Espagne durante la guerra de la Independencia y a la prolongación de sus trabajos en los años veinte. F. QUIRÓS, 2008, y J. C. CASTAÑÓN, J.-Y. PUYO y F. QUIRÓS, 2008.

¹⁸ J. BURGUEÑO, 2008, pp. XC-XCVI; F. NADAL, L. URTEAGA y J. I. MUÑO, 2006.





16.1. Plano de Zaragoza del Atlas de España y posesiones de ultramar de Francisco Coello: El

Atlas se elaboró para ilustrar el Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar de Pascual Madoz, una de las obras de mayor importancia del siglo, que se publicó entre 1845 y 1850. Coello realizó hasta 37 mapas provinciales entre 1841 y 1875 a escala 1:200.000, mapas que van acompañados en sus bordes por los planos de las principales poblaciones. La calidad de los mapas y la falta de actualización de la cartografía urbana convirtieron los planos de Coello en los únicos disponibles para muchas ciudades hasta ya entrado el siglo xx.

pletos y «para hacer abstracción completa de quiénes sean los dueños de las propiedades», y no establecer relación entre los intereses particulares y la planificación del ensanche. De modo que, tras el derribo de las murallas en 1854, siendo gobernador Pascual Madoz, y dado que el Ministerio de Guerra quería, con todo, mantenerse presente en el proceso del ensanche, el nuevo gobernador civil, Ciril Franquet, encargó las tareas preliminares a tres comisiones, reservando a Cerdá el levantamiento del mapa del Pla, que era la labor fundamental.

El ingeniero había estudiado en la Escuela de Caminos de Madrid entre 1836 y 1841 y había estado destinado en diversas provincias, hasta que dejó el servicio público y se instaló en Barcelona. Militó en las filas del liberalismo progresista y fue diputado y luego síndico del Ayuntamiento. La cartografía básica de Cerdá resultante del encargo consta de 13 planos a escala 1:1.250 (que era la de la Orden de 1846) con indicación de las cotas tomadas y curvas de nivel sobre ellas, equidistantes un metro. A partir de los mapas originales realizó un mapa general de grandes dimensiones, a 1:5.000, que mantiene la equidistancia de un metro entre curvas. Solo en la edición litografiada dedicada a la Reina incorporó la trama de la ciudad vieja. Se trata de un plano primorosamente dibujado, «el plano más claro y más perfecto que hayamos visto», dijo la *Revista de Obras Públicas (ROP)*¹⁹, y, sin duda, representa un punto de inflexión en la cartografía municipal.

El autor dice ser el primero en representar por medio de curvas de nivel el verdadero relieve del terreno sobre el que hacer el ensanche de la ciudad, un relieve accidentado por ramblas y torrentes y de topografía deformada por la explotación agrícola.

Sobre un terreno que tales accidentes ofrece no se concibe la posibilidad de hacer un buen proyecto de ensanche o trazado de nueva población sin tener previamente un plano por secciones de nivel que facilite la determinación de los planos rasantes donde aquella haya de descansar en términos que no dificulte la exportación de las aguas torrenciales derivadas de la montaña, ni imposibilite a las que hayan de caer sobre el suelo de la nueva ciudad su fácil y expedito escurridero por medio de un sistema de alcantarillas bien entendido²⁰.

Pero, además, lo verdaderamente nuevo eran los cuadros estadísticos, situados en los propios planos, referidos a la meteorología de la ciudad y de los pueblos del llano; censos de población, población específica, densidades, mortalidad y vida media (comparando Barcelona con otros lugares de Europa y América), edificación, riqueza mueble e inmueble, etc. Todo ello para apoyar un proyecto en el que la higiene pública se convertía en la base de la distribución de los edificios y del trazado urbano. La *ROP*, al comentar el trabajo, felicitaba al ingeniero por haber realizado gratuitamente tan ímproba misión, «saliendo del retiro de la vida privada y de la gestión de sus propios intereses en que se encontraba hace tiempo», y pedía al Gobierno que mandara proceder al proyecto definitivo. Cerdá, al describir la ciudad, mostraba explícita-

¹⁹ «Anteproyecto para el Ensanche de Barcelona», 1856.

²⁰ I. CERDÁ, 1855 en 2008, p. 132.



16.2. Plano topográfico del Pla de Barcelona levantado por Ildefonso Cerdá en 1855 por encargo del gobernador civil Cirilo Franquet. Aunque no es directamente el resultado de la orden de 1846 para la elaboración de planos topográficos de poblaciones, y sobre ellos los de alineaciones, sí representa uno de los ejemplos más logrados. Cerdá ignoró voluntariamente los trabajos topográficos realizados por los ingenieros militares y los catastrales llevados a cabo por los cartógrafos de la Comisión de Estadística con el afán de prescindir en ese momento de los imperativos de la propiedad. El mapa de Cerdá es el primero de este tipo en utilizar curvas de nivel y además va acompañado de cuadros estadísticos muy completos.

mente la idea de que el mapa era el primer e indispensable eslabón de la cadena que conduciría a la reforma urbana y la regeneración social, lamentaba que solo se hubiera realizado hasta la fecha el mapa de Madrid (a cargo de los arquitectos e ingenieros Juan Merlo, Fernando Gutiérrez y Juan de Ribera) y reclamaba del Gobierno que tomara la iniciativa en el caso de Barcelona.

Hace ya muchos años que el Gobierno mandó levantar el plano geométrico de las primeras poblaciones de España con el objeto, sin duda, de que en su vista, y con presencia de las abundantes y luminosas noticias descriptivas y estadísticas que suelen acompañarse en tales casos, pudiera la administración superior venir en conocimiento de los graves males que en todas ellas hay que remediar, y con especialidad en las más antiguas, para hacer su verdadera regeneración moral, higiénica, económica, administrativa, política y social. [...] La apertura de las nuevas calles y plazas, el ensanche y rectificación de las actuales y mil otras mejoras [...] no pueden llevarse a cabo acertadamente sin este trabajo previo²¹.

²¹ I. CERDÁ, 1859 en 1991a, pp. 140-141.

II.2. *El enfrentamiento entre arquitectos e ingenieros civiles, trasunto de la competencia entre los ministerios de Gobernación y Fomento, pero no solo*

La irrupción de los ingenieros en las obras públicas urbanas estaba provocando el malestar de los arquitectos. En el estudio realizado por Antonio Bonet, Fátima Miranda y Soledad Lorenzo se hace una crónica detallada de este conflicto, acompañada, además, de una sugerente antología de textos²². Como técnicos de la ciudad, los arquitectos y los ingenieros se encontraron en lugares distintos y a menudo enfrentados. Los arquitectos, en los ayuntamientos y en las comisiones municipales de obras, en la Real Academia de Bellas Artes, en las comisiones de monumentos de esta, en la Escuela de Arquitectura independizada de la Academia en 1844, en las juntas consultivas de Policía Urbana del Ministerio de Gobernación —de las que me voy a ocupar con cierto detenimiento a continuación—, pero, sobre todo, los arquitectos se movieron como profesionales libres y no estatales, salvo la corta etapa del Servicio de Arquitectos Provinciales y Municipales. Los ingenieros, por su parte, procedían de una escuela y pertenecían a un cuerpo; exigentes y renovadores, estaban al servicio del Ministerio de Fomento, formando la Junta Consultiva de Caminos y otras, y teniendo a su cargo la responsabilidad de las obras públicas, participaron de la revolución técnica del siglo y además se identificaron secularmente con el liberalismo y con el progreso. Así entran en el imaginario colectivo e incluso frecuentemente se convierten en héroes de novela, como se ha señalado en más de una ocasión²³.

Sea como fuere, lo que importa ahora es que el crónico enfrentamiento entre ingenieros de caminos y arquitectos sobre competencias técnicas en la ciudad se convirtió en buena parte del siglo XIX en trasunto del conflicto de competencias entre el Ministerio de Gobernación y el de Fomento, en el marco, además, de los vaivenes seculares de mayor y menor descentralización según el signo político de los Gobiernos. Planteada una cuestión muy compleja en muy pocas palabras, mientras que de modo general la competencia para las obras públicas radicaba en el Ministerio de Fomento, así llamado desde 1851²⁴, y, por tanto, en él estaba como cuerpo estatal el de Ingenieros de Caminos con su organización facultativa, el mundo local seguía

²² A. BONET, F. MIRANDA y S. LORENZO, 1985.

²³ Por ejemplo, el ingeniero Pepe Rey de *Doña Perfecta*, a quien Galdós, en su afán de personificar en él la modernidad, pensó inicialmente en llamar *Pepe Novo*. Como señala Antonio Bonet, la novela de Galdós representa la contraposición de dos mundos antagónicos que se enfrentan en la pequeña ciudad episcopal donde sucede la acción: el de una sociedad levítica y tradicional y otro nuevo de liberales y reformistas. Véase A. BONET, F. MIRANDA y S. LORENZO, 1985, pp. 51-53.

²⁴ Como nueva denominación de un Ministerio de Comercio, Instrucción y Obras Públicas heredero de una Secretaría de Estado y de Despacho de igual nombre en la que las Obras Públicas se habían desgajado del Ministerio de Gobernación en 1847, lo que, sin duda, constituye un hecho primordial en la historia administrativa española.

estando en general bajo la tutela del Ministerio de Gobernación. Solo a finales de siglo este ministerio recuperaba todas sus competencias en materia urbana.

El Estado constitucional, al liberalizar la propiedad, había terminado de hecho con la vieja policía urbana y rural como poseedora de un título casi universal para la acción pública; quedaba al mismo tiempo de manifiesto la debilidad ordenadora de los ayuntamientos. Dos son los momentos particularmente álgidos de la relación entre ambos ministerios y ambas profesiones: entre los años 1844-1848 y diez años después, en 1855-1856. Téngase en cuenta que, mientras que la Escuela de Caminos se había creado en 1799 y se consolidaba, tras las vicisitudes del reinado de Fernando VII, en 1836, con el carácter exclusivo de formar ingenieros para las obras públicas del Estado, la Escuela de Arquitectura no se emancipó (y relativamente) de la Academia de Bellas Artes hasta 1844. Se trataba de «sujetarla a todas las formalidades de una verdadera carrera científica», así como de «ampliarla teórica y prácticamente»²⁵.

Las instrucciones de 18 de octubre de 1845 para promover y ejecutar las obras públicas otorgaban al Cuerpo de Ingenieros amplias atribuciones, incluida la capacidad de construir todo tipo de edificaciones asociadas. El conflicto de competencias se acentuó a partir de entonces. Los arquitectos acusaron a los ingenieros de acaparar sus competencias y, para ello, «de quemar incienso civil a los repartidores de empleos»²⁶. Garriga i Roca, a quien el Ayuntamiento de Barcelona había de encargarse el proyecto de ensanche diez años después, dando lugar al famoso enfrentamiento entre la capital catalana, por una parte, y Fomento y Cerdá por la otra, llegó a decir que los ingenieros civiles deberían ocuparse en «el levantamiento del mapa general de España, en tanto no [era] posible utilizar sus conocimientos en las obras de su especialidad», de modo que se justificara —añadía— remunerarlos por los sueldos que percibían sin provecho público²⁷. Se trató por Real Orden de 31 de enero de 1848 de solventar el problema con el compromiso de encomendar a los arquitectos obra pública de carácter menor, medidas que más bien encrespaban los ánimos. Ese mismo año se creaba la Escuela Preparatoria para las Escuelas Especiales de Caminos, de Minas y Arquitectura, a la que desde el principio se opusieron los ingenieros, que consideraban que cada carrera debía dar preferencia a las partes más en relación con sus aplicaciones. Al mismo tiempo, la Ley de 11 de abril de 1849, de travesías, imponía a los municipios que costearan las carreteras que pasaban por su casco a arrabales y exigía la coordinación ente alineaciones municipales y travesías, sometiendo todo ello a la autoridad de los ingenieros jefe.

²⁵ Real Decreto de 25 de septiembre de 1844 (Gobernación [Pidal]) que aprueba el plan de enseñanza para los estudios de Bellas Artes en la Academia de San Fernando.

²⁶ A. BONET, F. MIRANDA y S. LORENZO, 1985.

²⁷ Son palabras de Garriga incluidas en el *Boletín enciclopédico de nobles artes redactado por una comisión de arquitectos* y que se recogen en J. BURGUEÑO, 2008, pp. LXXXIV-LXXXV.

Diez años después, en un nuevo momento de énfasis centralista, resurgía la polémica de los deslindes de atribuciones entre ambas profesiones, parece ser que a petición de los arquitectos. La *ROP* mantuvo en todo momento que la diferencia procedía de ser la ingeniería una carrera de Estado y la arquitectura una profesión liberal con la que el Estado no tendría más obligación que supervisar la formación y la actividad. Los arquitectos insistieron en la intromisión. La actitud —y el estado de ánimo— de ambos cuerpos queda bien patente en esta frase con que concluye un arquitecto su réplica a una observación de la redacción de la *ROP* sobre la cuestión:

[Llamó nuestra atención la siguiente afirmación del editorialista de *ROP*] notable por su inmodestia: «Los ingenieros en nada temen la competencia de nadie». Nosotros estamos en esta parte de acuerdo con el articulista, mayormente cuando, reconociendo en todo nuestra insuficiencia, también en *todo* tememos justamente la competencia de *todos*²⁸.

En 1858 se creó un Servicio de Arquitectos Provinciales y de Distrito como cuerpo nacional que quedaba a disposición de las diputaciones y de los municipios, con la doble función de asesorar al Gobierno en las cuestiones de policía urbana y de realizar tareas típicamente urbanísticas, como el levantamiento de planos de alineaciones, las tasaciones y las propuestas de mejora. Este servicio fue suprimido durante la Revolución de 1868 cuando se proclamó la libertad de artes y profesiones y se dejó a diputaciones y ayuntamientos que contrataran a su arbitrio. Como dijo en su día Pedro Antonio de Alarcón y ha documentado Fernando Sáenz Ridruejo, el «gobierno largo» (1858-1863) de O'Donnell, que a la estabilidad política sumó la bonanza económica, representó una edad de oro de las obras públicas y, por consiguiente, de los ingenieros de caminos²⁹. Hay un aspecto importante para lo que aquí nos ocupa. En 1856, de nuevo a vueltas con las travesías, se decía: «así como en Madrid se fijan las calles que se consideran como travesías, cuidarán los ingenieros de demarcar en todas las poblaciones el tránsito de cada carretera»³⁰. Esto suponía ratificar el reconocimiento facultativo de los ingenieros en la ciudad. Los documentos consultados para final de siglo muestran, en todo caso, que el enfrentamiento seguía muy vivo.

¿Debe concluirse de este repaso que el conflicto entre ingenieros y arquitectos es simple reflejo profesional de la compleja y variable distribución competencial decimonónica? O, a la inversa, ¿se produce entre ellos, como alguien ha dicho, una verdadera escisión de la modernidad entre el arte y la construcción?³¹. A mi juicio, ni una cosa ni otra, o, mejor dicho, ni solo una cosa, ni solo la otra. Para empezar, en aquellos

²⁸ J. AGUILAR Y VELA, 1855. En contestación a REDACCIÓN, 1855.

²⁹ F. SÁENZ RIDRUEJO, 2007, p. 135. Véase también F. SÁENZ RIDRUEJO, 1990.

³⁰ Real Orden de 18 diciembre de 1956 e instrucción de la Dirección General de Obras Públicas de 28 de febrero de 1857.

³¹ A. BONET, F. MIRANDA y S. LORENZO, 1985, pp. 29-33.

momentos el debate no parece haber alcanzado gran altura teórica, al menos en España, porque también tuvo lugar en otros países.

En segundo lugar, como ha estudiado Sáenz Ridruejo, por los avatares sufridos por la Escuela, y también por motivos de tradición y quizá de convicción, algunos de los miembros de las primeras promociones de ingenieros habían estudiado previamente Arquitectura. Un caso ejemplar es el de Lucio del Valle, el ingeniero del paso de las Cabrillas, del Canal de Isabel II y de la Puerta del Sol de Madrid, que era además arquitecto e incluso fue director de la Escuela de Arquitectura; algunos arquitectos, por su parte, fueron profesores de ingenieros en la Escuela Preparatoria. Carlos M.^º de Castro también fue ingeniero y arquitecto; un técnico, dice Bonet, pragmático, burocrático y conformista, que estaba ligado al marqués de Salamanca y trabajaba a dos tableros, el público y el privado. Porque es una cuestión que también hay que tener en cuenta: no todos los ingenieros estuvieron solo al servicio público, como muestra el caso de Cerdá, que causó baja para dedicarse a los trabajos de urbanismo con carácter particular, y el hecho de que en los años 1856 y 1857 hubiera que determinar cuándo y en qué circunstancias se permitiría a un ingeniero pasar a las órdenes de corporaciones y particulares, supeditándolo a que hubiera sobrantes en el cuerpo. A la inversa, muchas comisiones, tanto estatales como municipales, estuvieron formadas a la vez por ingenieros y arquitectos, e incluso médicos, políticos y otros profesionales; por ejemplo, la que se constituyó en el Ayuntamiento de Madrid para elaborar la parte de alineaciones y construcción de las ordenanzas, o la encargada de levantar el plano del ensanche de Barcelona, tras el derribo de la muralla. Lo mismo ocurrió con la Junta Consultiva de Policía Urbana, órgano del Ministerio de Gobernación que contó, además de con arquitectos, con ingenieros y científicos. Lo que sí es relevante es que la Academia de Bellas Artes perdiera gradualmente su influencia y su voz quedara reducida prácticamente a asuntos de decoración, conservación y restauración.

No cabe, en todo caso, duda de que la enseñanza académica de la arquitectura tardó en liberarse de cánones clásicos e históricos³², ni de que alguna responsabilidad tuvo en ello la Academia. Es innegable que los ingenieros de caminos se anticiparon en la ordenación urbana a los arquitectos, anclados en una visión más academicista y artística. A lo hay que añadir que su presencia en las obras municipales fue la que propició la entrada de los nuevos materiales de construcción, haciendo viables estructuras hasta entonces inconcebibles. El uso generalizado del hierro y otros metales se convirtió entonces en el emblema de los diseños ingenieriles. Pero, además, su intervención en los temas de vialidad, locomoción, conducción del gas, conducción y evacuación del agua fueron, con el siglo, realizando su papel. El movimiento moderno de

³² El Decreto de 21 de enero de 1855 por el que se aprueba el reglamento de la Escuela de Arquitectura alude a la necesidad de liberarse del espíritu de escuela y de no limitarse a la referencia al mundo romano. Aboga por primera vez por una enseñanza científica, o al menos por unir en la misma escuela la parte artística y la científica.

- 1834 Estatuto Real
- 1836-07-17 Ley de enajenación forzosa por causa de utilidad pública (que desarrolla el Estatuto Real de 1834)
- 1836-01-25 Real Decreto de desamortización (Mendizábal)
- 1837 Constitución española de la monarquía (vigente hasta 1845)
- 1844 Creación de la Escuela Especial de Arquitectura
- 1845-10-18 Instrucciones para promover y ejecutar las obras públicas
- 1846-07-25 Real Orden (Gobernación) sobre formación de planos geométricos de las poblaciones, y sobre ellos los de alineaciones
- 1847 Proyecto de ensanche de Madrid del ingeniero Merlo (rechazado) y Plan Mesonero Romanos para la reforma interior
- 1848 Escuela Preparatoria de Ingeniería Civil y Arquitectura
- 1849-04-11 Ley de travesías urbanas
- 1850 Felipe Monlau publica *La cuestión de la vivienda*
- 1852-08-04 Constitución de la Junta Consultiva de Policía Urbana, que en 1853 propone unas bases sobre alineación de las calles (la Junta desaparece en 1854)
- 1853-1862 Reforma de la Puerta del Sol (Madrid)
- 1854 El gobernador Cirilo Franquet encarga a Ildefonso Cerdá que levante el plano topográfico del Llano de Barcelona
- 1854 Derribo de la muralla de Barcelona, siendo gobernador Pascual Madoz
- 1854 Ensanche de Vigo
- 1855-05-01 Ley general de desamortización (Ley Madoz)
- 1859 Ensanche de Barcelona, según el plan y la memoria de Ildefonso Cerdá
- 1859-1864 Junta Consultiva de Policía Urbana y Edificios Públicos
- 1859 Publicación de la *Teoría general de la urbanización* de Ildefonso Cerdá
- 1860-1867 Ensanches de Madrid (1860), Bilbao (1863 y 1867), San Sebastián (1864), Sabadell y Elche (1865)
- 1861 Proyecto de ley para la reforma, saneamiento, ensanche y otras mejoras de las poblaciones (Ley Posada Herrera) (no se llegó a aprobar)
- 1861-1864 Ley hipotecaria
- 1864 Ley de ensanche de las poblaciones
- 1879-01-10 Ley de expropiación forzosa
- 1881 Plan de reforma del interior de Barcelona
- 1892-06-16 / 1901 Real Decreto que crea la Junta Consultiva de Urbanización y Obras
- 1892 Proyección de la Ciudad Lineal por Arturo Soria
- 1895 Ley de saneamiento y mejora interior de las grandes poblaciones
- 1896 Ley que encarga a la Junta Consultiva de Urbanización y Obras un plan de reforma interior de Madrid y otro de urbanización de los alrededores en un radio de 8 km del centro de Madrid
- 1902 El doctor Hauser publica *Madrid bajo el punto de vista médico-social*

Cuadro 16.1. Algunas disposiciones legales o hitos relevantes sobre planes urbanísticos.

la arquitectura, ya en el xx, y muy en particular Le Corbusier, alababan la estética del ingeniero en la arquitectura. En su famoso manifiesto de 1923 no se recataba en decir: «El ingeniero, inspirado por la ley de la Economía y dirigido por el cálculo matemático, nos pone de acuerdo con la ley universal. Consigue la armonía». La arquitectura del ingeniero estaría, así, más preparada para «la Máquina de casas», la producción en masa de edificios, saludables, bellos y también moralmente higiénicos³³.

III

LA REFORMA INTERIOR DE LAS CIUDADES: RAZONES, DOCTRINAS Y BLOQUEOS

III.1. *La Junta Consultiva de Policía Urbana: bases del urbanismo y respeto de las condiciones locales*

De retorno de sus dos viajes por Europa, uno a mediados de los años treinta del siglo xix y el segundo a principios de los cuarenta, intentaba Ramón Mesonero Romanos «nivelar Madrid, corte y capital, con otras capitales de pueblos más cultos», aun reconociendo su notable menor población y riqueza³⁴. A sus ojos, era una ciudad cuyo carácter presentaba «mil irregularidades de alineación, calles estrechas, tortuosas y desniveladas, asombradas por las paredes de los conventos, sin empedrar, [...] una ciudad desaseada y ruidosa»³⁵. La primera tanda de propuestas de Mesonero, como todas las de la época, respondía a los fines de ornato, salubridad, comodidad y seguridad, por utilizar los términos de entonces. Se entendía que, por prudencia, las mejoras debían ser compatibles con «nuestras costumbres, nuestro clima y nuestra escasez».

Eran años fecundos en proyectos gigantescos, como dice el propio escritor y político, con gran vitalidad de la iniciativa privada y pública. En 1847, por encargo del ministro de Gobernación, Pedro Pidal, el mismo de la disposición de los planes geométricos, se sometía por sorpresa al Ayuntamiento el primer plan de ensanche, realizado por el ingeniero Merlo, el que había levantado el plano, justificado en que la capital lo necesitaba por ser el centro del que partían las vías de comunicación hacia todas las capitales de provincia. La respuesta negativa del Ayuntamiento procedió del propio Mesonero, entonces concejal, por considerar la medida gigantesca, desmesurada, prematura, inconveniente e inviable. Auguraba, de llevarse a cabo, un siglo al menos de vacío en los nuevos barrios del ensanche³⁶. Creía el ya concejal Mesonero

³³ LE CORBUSIER, 1923.

³⁴ R. de MESONERO ROMANOS (1846), 1989, pp. 8-9.

³⁵ R. de MESONERO ROMANOS (1881), 1975, p. 144. Son los mismos defectos que le achacaría veinticinco años después Cerdá para justificar su plan de viabilidad urbana: calles estrechas y tortuosas, inaccesibles hasta para la locomoción ordinaria.

³⁶ R. de MESONERO ROMANOS, 1903, pp. 140-147.

que para adaptar la ciudad a los requerimientos de la burguesía había otras muchas necesidades inmediatas.

Mejorar el tránsito público, abastecimiento conveniente de aguas y víveres, limpieza, reparación de avenidas, construcción de nuevas residencias; [...] reforma completa del empedrado, del alumbrado por el gas, de la limpieza de las calles; el ensanche de estas, por donde circula el triple de carruajes que anteriormente; la conclusión de las alcantarillas cloacas, de los mercados, de los mataderos, de las cárceles, de los cuarteles, de los teatros, escuelas, de mil objetos, en fin, de absoluta necesidad que, o no han existido nunca, o han sido suplidos hasta aquí por otros mezquinos e insuficientes³⁷.

El plan de Mesonero se basaba en dar a la ciudad algunas ampliaciones dentro del casco y aprovechar los desahogos de la desamortización eclesiástica, de la que era acérrimo defensor, para abrir nuevos barrios. En cuanto al crecimiento del extrarradio, el político proponía consolidar los núcleos que iban surgiendo en cinco grandes barrios de arrabal: el de Chamberí; la venta del Espíritu Santo, pasada la plaza de toros; el de Yeseñas o el Perchel, más allá de la puerta de Atocha; el inmediato al puente de Toledo; y el lindante con el Manzanares en el puente de Segovia, destinados a las clases humildes, que, según él, obtendrían de este modo espacio y ventilación a precios asequibles. El ensanche como plan de conjunto debía, por tanto, posponerse.

Se necesitaba, en cambio, y con urgencia un plan general de alineaciones. Primero se trató de que en el Ayuntamiento se redactaran unas ordenanzas completas con la ayuda de una comisión mixta de arquitectos e ingenieros; después, las ordenanzas de alineación y construcción quedaron separadas del resto y fueron encomendadas a la Junta Consultiva de Policía Urbana constituida por Gobernación el 4 de agosto 1852 y presidida por el propio Mesonero Romanos (hasta su primera supresión dos años después con motivo de la Vicalvarada). La Junta tenía por misión hacer las alineaciones de Madrid y revisar las que se le sometieran de cualquier otra población importante. Nacía, pues, por y para Madrid, se sufragaba con dinero de Madrid, y la capital se convertía así en el banco de pruebas del urbanismo centralizado. Como bien dijo en su día Rafael Mas, la singularidad madrileña radica en que «algunas de las operaciones de reforma no se hacen a instancias del poder local, el municipio, sino desde el poder central, ya fuera el monarca o los departamentos gubernamentales»³⁸.

Se trataba de someter las construcciones urbanas a un sistema de alineación regular, lo que suponía fijar la anchura y la dirección de las calles y las relaciones de los edificios con la vía pública, con lo que se esperaba facilitar las comunicaciones interiores y mejorar la salubridad, la comodidad y la seguridad. Según se dijo entonces, había que «romper, nivelar y ensanchar calles», pero no acometer demoliciones generalizadas ni cambiar sustancialmente la trama.

³⁷ *Ibíd.*, pp. 160-161.

³⁸ R. MAS HERNÁNDEZ, 1994, pp. 44-45.

Además, y sobre todo, se pretendía introducir reglas en las actuaciones urbanas, lo que se quiso conseguir por medio de unas bases que dictó la Junta en 1853, cuya importancia excepcional ha subrayado Martín Bassols al considerarlas la primera formulación doctrinal conocida, un quinquenio antes del plan de ensanche de Barcelona y apenas iniciados los cambios legislativos que harían posible la reforma de Haussmann en París. «La labor de estos organismos centrales fue decisiva para renovar los planteamientos tradicionales en los que estaba anclada la visión tradicional de la policía urbana»³⁹ y, por tanto, del urbanismo.

Lo primero que hacen las bases es establecer el principio de indemnización justa pero no abusiva, al someter el derecho de la propiedad a la conveniencia pública. De modo que al fijar la cuantía de la indemnización por obra pública había que contar con la plusvalía que se podía esperar de esta misma obra. «A veces la pérdida de algunos pies de terreno hace adquirir a una finca, mediante el ensanche de una calle, la apertura de otra, la formación de una plaza, etc., un valor muy superior al que tenía antes de sufrir esa desmembración»⁴⁰.

En los aspectos morfológicos y funcionales, anchura y rumbo de las calles, por ejemplo, es interesante —en relación con lo ocurrido más tarde— que la Junta optara por soluciones flexibles, muy atentas a las circunstancias locales y ajenas a formalismos o imposiciones de escuela. En este sentido, se inclinaba por rechazar el principio de bondad absoluta de ensanchar todas las calles, admitiendo que pueden darse circunstancias locales que aconsejen lo contrario, principios que si hoy llaman la atención es por lo evidente y por haber sido preteridos por las nuevas concepciones.

La salubridad y hasta la comodidad del vecindario piden a veces calles estrechas, calles inclinadas, calles tortuosas; las circunstancias locales, la topografía del terreno, el clima más o menos cálido, más o menos húmedo, los vientos que dominan en cada población, hasta los usos y las costumbres de los pueblos deben preverse en las reglas de la policía urbana. [...] En nuestras poblaciones meridionales, muy dominadas por el sol, y cuyo clima es muy seco, deben evitarse las calles muy anchas, rectas y llanas y [conviene, en cambio,] calles medianamente angostas y que embudan el aire⁴¹.

Aparte de no ensanchar por sistema, sino atendiendo a lo que conviniera en cada caso para evitar indemnizaciones costosas, la JCPU se inclinaba también por no abrir calles rompiendo manzanas demasiado pequeñas porque la aparente ventaja redundaría en perjuicio de la salud pública. Se recomendaban dobles fachadas, patios y jardines, optando más por las calles de tránsito interior que por grandes vías de circulación.

Cuando la Junta fue suprimida por primera vez había informado 400 expedientes, de los que 268 eran de calles y plazas de la capital, de obligado cumplimiento

³⁹ M. Bassols, 1996a, p. 25.

⁴⁰ JCPU, 1870, pp. 370-376. También, en Archivo de la Villa de Madrid, Secretaría, ASA-4-250-13.

⁴¹ *Ibíd.*

municipal. Había asimismo elaborado la primera propuesta de reforma de la plaza de la Puerta del Sol. Mesonero Romanos consideraba su labor abnegada, reivindicaba la independencia de la que había hecho gala frente a las presiones de los interesados y pedía que no se volviera a la ausencia de reglas. En 1857 se volvió a crear, siendo ahora ministro de Gobernación Claudio Moyano, con competencias similares y predominio en la composición de los arquitectos; dos años después fue refundada con el nombre de Junta Consultiva de Policía Urbana y Edificios Públicos (JCPU), con competencias algo recortadas, por presiones del Ministerio de Fomento, y con una composición en la que se reforzaba la presencia de técnicos, pero nuevamente con gran mayoría de arquitectos, ahora de los provinciales, además de los vinculados a la Academia de San Fernando. Fue de nuevo suprimida en 1864 y veremos que solo hubo un tímido intento de reinventar una institución parecida a finales de siglo.

III.2. *La reforma de la Puerta del Sol: obra tutelada por el Gobierno y triunfo del urbanismo de la circulación en la ciudad burguesa*

La reforma de la Puerta del Sol es el mejor exponente en España del espíritu de reforma urbana que imperaba en Europa, siguiendo el modelo de París, pese a no ser, evidentemente, comparable. Es la primera obra de iniciativa municipal tutelada por el Gobierno, ya que procedió de la JCPU. Su proceso fue largo y problemático, se prolongó entre 1853 y 1862, y constituye, a mi entender, una perfecta síntesis de todos los elementos en juego en el urbanismo isabelino: cambios de ritmo e interrupciones como consecuencia de la inestabilidad política, interferencias de la Administración central en los asuntos de Madrid, laboratorio de las nuevas concepciones de reforma urbana basadas en la movilidad, presencia profesional tanto de ingenieros como de arquitectos, con triunfo final de los primeros y postergación de la Academia de Bellas Artes, mecanismos de realización a través de la declaración de utilidad pública. En este caso se daba, además, la circunstancia de la prioridad de orden público por ser el Ministerio de Gobernación, localizado en la antigua Casa de Correos, el eje de la plaza. Pedro Navascués, el estudioso de la arquitectura madrileña del siglo XIX, lo resume así: «Postergación de la Academia, ingenieros en lugar de arquitectos, primacía de lo útil sobre lo bello, he aquí tres síntomas de una nueva situación vital, a la cual pertenece [el] siglo»⁴².

La plaza de la Puerta del Sol era en palabras de Fernández de los Ríos *forum* matritense y gran teatro de la vida pública («en cuyo centro se proclamó y leyó en voz alta la constitución de Cádiz, para ser quemada en el mismo sitio al volver Fernando VII, donde también el cura Merino paró la carroza del monarca para presentarle la Constitución al grito de *Trágala, perro*»)⁴³. Pero se presenta entonces también como el centro urbano por excelencia, desde el que se expande un sistema viario

⁴² P. NAVASCUÉS, 1973, p. 147.

⁴³ Á. FERNÁNDEZ DE LOS RÍOS, 1982, pp. 163-164.

radial, «como traduce de inmediato la simple inspección del mapa», según el ingeniero Víctor Martí, compañero de promoción de Cerdá. En ese carácter central se había amparado ya la conversión de la Puerta del Sol en punto de partida de la numeración y la rotulación de calles. Pero Martí es terminante: si la Puerta del Sol es el centro más importante de la circulación de Madrid es por efecto del sistema radial de sus calles de primer orden, que, partiendo de la plaza, forman las principales arterias por las cuales se desarrolla el movimiento de esta gran población, de modo que solo la calle de Atocha queda fuera del sistema. Pero además el paso por la Puerta del Sol es también obligado para evitar en lo posible que la disposición natural madrileña de vaguadas y lomas obligue a «bajar cuencas y subir vertientes». La centralidad urbana se mide también en términos de concentración política y administrativa, reforzada, añade Martí, por «la exagerada centralización que rige en nuestro país»⁴⁴. En una pequeña porción de la superficie de la capital estaban las quince principales dependencias del Estado, de la provincia y del municipio. De todo ello resultaba una presión circulatoria que Carlos María de Castro, el autor del ensanche, había calculado nada menos que en 420 carruajes y 130 caballerías por hora en la parte central del día.

Lo importante es que la reforma que se planteó inicialmente en 1853 por la Junta de Policía Urbana para el embellecimiento y regularización acabó siendo justificada casi exclusivamente por razones de movilidad. Hubo un error de partida con una declaración de utilidad pública a los efectos de expropiación e indemnización mediante una simple real orden, lo que suscitó dudas legales y retrajo a los agentes económicos por «el mal carácter y torcido giro» del asunto⁴⁵. Se produce entonces un hecho fundamental y que es todo un símbolo del devenir secular del que nos estamos ocupando. Transcurridos dos años con las casas derribadas y sin construcción, en 1857, durante la etapa moderada de Narváez, el expediente de la reforma que se había instruido y radicaba en el Ministerio de Gobernación pasó al de Fomento con el carácter de «expediente de reforma del centro de las travesías de las carreteras generales», ya que se entendía que el kilómetro cero de las carreteras de primer orden que salen de Madrid se situaba frente a la antigua Casa de Correos, ya Ministerio de Gobernación. Ello resolvía el tema de la declaración de utilidad pública. Pero, además, lo que parece un acontecimiento más en el conflicto se carga de sentido si tenemos en cuenta que el Gobierno decidió encargar un nuevo proyecto a los ingenieros del Canal de Isabel II, Lucio del Valle, Juan Rivera y José Morer, que elaboraron una propuesta conocida desde entonces como «de los ingenieros», sin duda por contraposición a las de arquitectos anteriores y posteriores.

⁴⁴ V. MARTÍ, 1859. Citas todas ellas de las páginas 55 a 57.

⁴⁵ Real Decreto de 28 de mayo 1856 que fija las bases para sacar a pública subasta la obra de la reforma de la Puerta del Sol.



16.3. Panorama de la Puerta del Sol de Madrid antes de la reforma: *La Puerta del Sol era el centro de la vida política y económica de Madrid y su traza no respondía a las necesidades de tránsito, que se llegaron a cifrar en más de 400 carruajes y cerca de 150 caballerías en las horas centrales del día. (Foto: Ch. Clifford, 1853. Archivo Ministerio de Fomento).*

A finales del decenio de los cincuenta, los objetivos exclusivos de circulación habían triunfado por completo. En su informe de 1857 la Junta Consultiva de Caminos, Canales y Puertos es terminante al ofrecer lo que llama «un punto de vista científico»:

Reconocidos por todos las condiciones de amplitud, desahogo, ventilación y salubridad que deben reunir la plaza y los edificios en este centro del movimiento de la Corte, ¿deberá considerarse como preferente la circunstancia de los edificios y la regularidad de los polígonos que se adopte, dejando en segundo término el trazado y disposición de las calles, o deberá darse esa preferencia a estas vías del movimiento y vida de la población, subordinando a ellas la determinación del perímetro de la plaza?⁴⁶

Para los ingenieros que componían la Junta —entre otros, Calixto Santa Cruz, Carlos María de Castro, José Echegaray, Lucio del Valle y Víctor Martí— la respuesta no admitía dudas: había que pronunciarse a favor de la preferencia de las vías de circulación, y ese fue el criterio adoptado por los ingenieros encargados del proyecto. «Así pues, lo capital, lo indispensable es aumentar la superficie de circulación facilitando el enlace de las grandes calles que afluyen en aquel centro, y lo secundario, aunque importante, es dar al trazado la forma más perfecta posible».

La opinión ingenieril fue, pues, unánime. Satisfechas las condiciones de circulación, se trataría de armonizar las de ornato y embellecimiento, siempre que se sujeta-

⁴⁶ Archivo Histórico Nacional, Fondos contemporáneos, Fomento, leg. 85-2. Cit. en J. GÓMEZ MENDOZA, 2006a, p. 44.



16.4. Proyecto de reforma de la Puerta del Sol (1859): La reforma de la Puerta del Sol es un exponente a escala española y madrileña del modelo de Haussmann en París. El proceso se prolongó entre 1853 y 1862, con interrupciones debidas a los sucesos políticos, el reconocimiento del tráfico como prioridad y el triunfo de los proyectos de ingenieros sobre los más arquitectónicos. El proyecto reproducido es el que se llevó a la práctica, obra de los ingenieros Lucio del Valle, Juan Rivera y José Morer. Supuso el aumento de la superficie de la plaza en dos tercios, hasta más de 12.000 m², con un volumen de derribos proporcional.

ran a las condiciones de economía que exigía la obra pública. Ya lo había dicho años atrás, a propósito del mismo asunto, la redacción de la *Revista de Obras Públicas* con frase rotunda que expresa toda una concepción profesional: «la belleza no debe ir más allá de lo que exija la comodidad del tránsito»⁴⁷.

Con estos criterios fueron juzgados los proyectos de la época más reciente. En última instancia compitieron dos de arquitectos (un segundo proyecto de la Junta Consultiva de Policía Urbana y el de la Academia de Bellas Artes, más monumentales, de mayores proporciones y que suponían, por tanto, más expropiaciones) y distintas versiones del de ingenieros de 1857, la última de la cuales fue la que se llevó a cabo⁴⁸. Al término, la plaza había aumentado su superficie de algo más de 5.000 m² a más de

⁴⁷ *Revista de Obras Públicas*, 1855, p. 201.

⁴⁸ Los proyectos han sido estudiados por P. NAVASCUÉS, 1968, pp. 64-81.

12.000, y no tenía más ornato que una sencilla fuente en el centro, pero que iba a lanzar el agua sobrante del Lozoya por encima de los 30 m de altura. De las obras, como de los derribos, también de la situación de partida, nos queda el inestimable testimonio gráfico del fotógrafo inglés Clifford. La contemplación de las fotos ilustra una historia accidentada. Tan accidentada como cargada de significado sobre la evolución de las concepciones urbanas durante el reinado de Isabel II.

IV

EL URBANISMO DE ENSANCHE

IV.1. *Las bases teóricas: circulación e higiene e interés general*

El hombre no ha nacido, decía Ildefonso Cerdá, para ser como el caracol o la tortuga: «quiere agitarse en este globo del que Dios le hizo dueño». Para el ideario progresista decimonónico, del que participa Cerdá, la nueva civilización, en pugna con la antigua, se basa en «movimiento y comunicatividad»; la febril actividad que tienen que desplegar los ciudadanos en unos centros llamados a ser los focos de la nueva vida social no parece compatible con el quietismo impuesto por las estructuras urbanas heredadas, que la aprisionan como una camisa de fuerza⁴⁹.

Para este cambio de civilización, la misión de los técnicos consiste en facilitar la movilidad, la accesibilidad y la conectividad. En la ciudad, se trata de favorecer comunicaciones rectas y desembarazadas entre los varios centros de acción existentes y entre estos y todos los barrios, ya que, siempre según Cerdá, la «viabilidad»⁵⁰ es la vida de un pueblo. De entre los centros de acción, los principales son las estaciones de ferrocarril⁵¹. El teórico Cerdá convierte la circulación y el transporte en principios configuradores del trazado urbano al mismo tiempo que en gran utopía social. En esta perspectiva las calles son concebidas solo como vías públicas para circular y acceder a las viviendas, caminos por los cuales se anda, «así como los ríos —añade el ingeniero, utilizando la que llama sublime expresión de Pascal— no son más que *caminos*

⁴⁹ I. CERDÁ, 1867 en 1968-1971, I, pp. 12-15.

⁵⁰ Es el término que utiliza I. Cerdá para construir la teoría sobre la que basaría la reforma de Madrid (1861), una propuesta fundada en efectos sobre las vías de circulación.

⁵¹ El propio Cerdá recuerda como impresión fundadora de su teoría el asombro que le embargó en Nîmes en 1844 cuando por primera vez vio un tren y el tráfico de personas que generaba: «poblaciones enteras ambulantes cambiando precipitadamente de domicilio [y] desparramándose con dificultad por las angostas calles de la ciudad». En ese momento, el ingeniero comprende que el maquinismo sitúa su tiempo a las puertas de una civilización nueva, vigorosa y fecunda: «Tal vez no se encontraría un solo hombre urbano que no quisiese ver la locomotora funcionando por el interior de las urbes, por todas las calles, por en frente de su casa, para tenerla constantemente a su disposición». Más tarde confesaba que esa primera impresión, ese primer entusiasmo fueron los que decidieron a qué iba a dedicar el resto de su vida. I. CERDÁ, 1867 en 1968-1971, I, p. 6.

que andan»⁵². Ese cambio en el orden de valores (la calle es la que determina el edificio y no a la inversa) es lo que la ciudad haussmanniana, en París y en todas las que emprenden la reforma a su imagen, está confirmando de forma radical. A partir de este momento, la *percée*, la apertura de la calle, determina la edificación, el dibujo de las parcelas, las funciones, el espacio público, la distribución del espacio privado. Las alineaciones dejan de ser un tratamiento correctivo, más o menos sutil, que respeta el plano parcelario, que apenas lo modifica, aunque sí cambie el caserío. La nueva red viaria se convierte en el nuevo principio de organización que se sobreimpone a la ciudad consolidada o que regula la ordenación de las extensiones⁵³.

Volvamos ahora, con estas premisas, a la relación de los ensanches con las ciudades. Tanto para Madrid como para Barcelona, Cerdá tiene claro que ensanche y reforma interior se necesitan mutuamente. «La reforma de Madrid es hace años una necesidad, pero lo es con mucha más apremiante urgencia desde el momento mismo en que se trata de llevar a cabo su ensanche», escribe en la *Teoría de la viabilidad urbana y reforma de Madrid* de 1861⁵⁴. Dos años antes había mantenido que no se podía retroceder ante los derribos.

En una época en que las poblaciones todas ellas tienen necesidad de una expansión tan grande, y en la cual es sabido de todos la inseguridad y la miseria que se anidan en estas ciudades que nos ha legado la edad media, el no descargar sobre ellas el martillo de la demolición y la reforma sería, más bien que un anacronismo injustificable, una verdadera iniquidad⁵⁵.

Lo que no le impidió mostrarse crítico con los problemas sociales que estaban acreando en París las demoliciones masivas y la consiguiente expulsión de población:

La administración que pasa por ser la mejor organizada, la más paternal y hasta oficiosa, la que desciende no pocas veces a pormenores de tutela o cuidado individual, la administración francesa, [...] emprendió para reformar París el derribo de centenares de edificios sin curarse de la suerte que había de caber a los millares de almas lanzadas de sus hogares⁵⁶.

De modo que el ensanche necesita enlazar con el centro a través de vías de comunicación fluidas. Acierta Bassols al señalar que a la postre se invierte el razonamiento inicial: «la reforma interior se convierte en una consecuencia del ensanche y

⁵² I. CERDÁ, 1863.

⁵³ M. RONCAYOLO, 1983, p. 102.

⁵⁴ En la edición del Ministerio de Administraciones Públicas y del Ayuntamiento de Madrid de 1991 se incluye el proyecto de Cerdá con calles que rompen y atraviesan la ciudad consolidada, indiferentes a la trama y la edificación, como por ejemplo la que iba de la estación de Atocha a las Vistillas.

⁵⁵ I. CERDÁ, 1859 en 1991a, p. 405, § 1453.

⁵⁶ I. CERDÁ, 1861 en 1991b, p. 218, § 1349.



16.5. Proyecto de viabilidad urbana y reforma de Madrid de Ildefonso Cerdá (1861): 1) Portada del proyecto de reforma; 2) Plano con el trazado (véase página siguiente). Se trata de una propuesta que no llegó a ser aprobada al no ser reconocida como encargo. Cerdá convierte la viabilidad en razón absoluta de la reforma, lo que explica la apertura de ejes que no duda en hacer sobre el tejido urbano, como, por ejemplo, el que une la estación de Príncipe Pío con la de Atocha, a las que considera los verdaderos «centros de acción» urbana. (Archivo General de la Administración, Ministerio de Cultura, caja 31-08195-tomo Atlas)

no en su causa material»⁵⁷. Finalmente, en opinión de este autor, la singularidad del modelo español radicaría en esta inversión de roles: el ensanche acaba por depender de la renovación del centro para conseguir sus objetivos viales.

La construcción teórica cerdiana respecto a los modos de llevar a cabo reforma y ensanche con equidad y eficacia constituye, como es bien sabido, una de sus mayores aportaciones doctrinales, de la misma manera que el trazado del ensanche de Barcelona es uno de los logros más conseguidos del urbanismo moderno. Pensaba el ingeniero, como la mayor parte de los reformadores y técnicos, que la reforma de una ciudad es una obra de utilidad pública que afecta no solo a los intereses de la localidad, sino a los generales. A su vez, el propietario se beneficia de la urbanización y, por tanto, tiene que subvenir a la construcción de las calles y vías que dan acceso a su casa. «En cualquier obra de utilidad pública, los gastos que son siempre reproductivos han de correr de cuenta de aquellos a los que hayan de reportar las ventajas provenientes de la misma obra. [Sería] una iniquidad insigne pagar a un propietario el derecho a hacerse más rico»⁵⁸. El ingeniero teórico es consciente de que se trata de una práctica

⁵⁷ M. BASSOLS, 1996a, pp. 30-31.

⁵⁸ I. CERDÁ, 1859 en 1991a, p. 461, § 20, y p. 464, § 44.



común y le dedica los más duros calificativos, con expresiones que ilustran sus tormentosas relaciones con propietarios urbanos y ayuntamientos y la prevención con la que mira al localismo.

Obligar a un Ayuntamiento a que expropie los edificios, compre los solares que han de ocupar las calles, explane y afirme el terreno por donde ellos hayan de pasar y costee además la construcción de alcantarillas, la colocación de las cañerías para la conducción del agua potable y del gas, ponga los faroles para el alumbrado y establezca además todo cuanto exige el servicio de la misma calle, dejando a los propietarios colindantes por ambos lados el derecho de edificar como y cuando les plazca, y el de duplicar sus rentas, subiendo sin tasa ni medida los alquileres, explotando de esta manera los sacrificios hechos por la urbanización, es, fuera de toda duda, lo más antinatural, lo más absurdo, lo más inicuo que puede darse, absurdo repugnante, iniquidad tremenda que no podríamos explicarnos si no conociésemos por desgracia el abandono con que por lo general se miran los derechos y los intereses de la administración municipal y la incuria y pereza que, salvo algunas honrosas excepciones, distinguen a los encargados de vigilarlos y defenderlos⁵⁹.

En la teoría, pues, propietarios y Administración deben contribuir a los costes de urbanización e infraestructuras. La forma que propone el ingeniero para lograr el dinero es eximir a las empresas constructoras de la contribución territorial durante treinta años. Pero más allá de la propuesta, que, como tantos especialistas han puesto de manifiesto, sería traicionada en la ley de ensanche («me plagian, y mal», dijo entonces el autor con amargura), lo que me interesa aquí desde el punto de vista de las ideas y los lenguajes territoriales es el razonamiento que le lleva a formularla. Aplicando a la cuestión las reglas de la analogía, constata que, si se exime a los propietarios rurales, temporal o parcialmente, de contribución, lo mismo se debe hacer con los propietarios y promotores urbanos porque, en última instancia, «edificar es reducir a cultivo urbano»⁶⁰. La ley y la justicia exigen que el reformador y el engrandecedor de una población antigua sean equiparados al que mejora su explotación agraria, que estaba exento de contribución por un decreto de 15 de junio 1845. Las ciudades y sus afueras son campos verdaderamente cultivados, y lo que se hace al reformar es mejorar su cultivo. «Con solo aplicar a las ciudades las mismas exenciones tan justamente dispensadas a las plantaciones de olivos y de arbolado, desaparecen súbitamente todas las dificultades».

La retórica que despliega Cerdá para sostener su analogía es potente y traduce el espíritu del siglo respecto al uso de los recursos. No habría diferencia (a efectos de interés social y generación de riqueza, y, por tanto, de exención fiscal) entre desecar una laguna y plantar allí donde antes se producían fiebres malignas y muerte, y reformar y ensanchar una ciudad, antes también laguna pestilente y foco de miasmas deletéreos, en el orden físico y en el moral, para convertirlo en jardín de salud. De igual

⁵⁹ I. CERDÁ, 1859 en 1991a, p. 463, § 39.

⁶⁰ I. CERDÁ en 1861 en 1991b, p. 95, § 335.



16.6. Portada de la Teoría general de la urbanización y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche de Barcelona de Ildefonso Cerdá (1859).

modo que sería análogo, a los mismos efectos, reemplazar edificios impropios para morada del hombre, y calles, callejones tortuosos, estrechos, sucios y malsanos, por muchas y espaciosas calles donde pudieran penetrar el sol y el aire, ejerciendo su benéfica influencia de aventar los miasmas y al mismo tiempo de crear riqueza y perfeccionamiento social y moral⁶¹. El cultivo de las plantas es como la cultura del hombre; el constructor es colonizador, roturador y poblador.

La imagen por antonomasia de los ensanches es su forma geométrica: el plano ortogonal era la doctrina por excelencia de la Escuela de Ingenieros de Caminos⁶². También en este aspecto Cerdá trató de dar una base teórica, de presentar la cuadrícula como traducción geométrica de la fórmula propuesta. No puede considerarse un azar que el proyecto de distribución de manzanas de Cerdá lleve el significativo título de «Construcción geométrica de varios casos de distribución higiénica en una ciudad». La regularidad de los trazados remite a razones de ciencia, equidad y economía. En el proyecto de Cerdá se reconoce la búsqueda de la ciudad igualitaria, en el más

⁶¹ I. CERDÁ, 1859 en 1991a, p. 457, § 72.

⁶² A. BONET, 1978, p. XIX.

pleno sentido de la palabra. Como concibió la ciudad desde la vivienda, y aunque la casa aislada y el medio rural puedan aparecer en principio como un ideal, su magia y su genio radicaron en sacar la máxima ventaja de la ciudad compacta a través de la manzana, bien distribuida, con doble ventilación a las calles y patio interior, de modo que el sol estuviese asegurado en todas las viviendas⁶³. Era su forma de concebir «la urbanización del campo y la rurización de la ciudad» que postuló en la *Teoría*.

IV.2. Los ensanches: analogías y diferencias. Desvirtuación de los mecanismos

La secuencia de los primeros proyectos de ensanche es bien conocida: Vigo, 1854; Barcelona, 1859; Madrid, 1860; Bilbao, 1863; San Sebastián, 1864; Sabadell y Elche, 1865; nuevamente Bilbao, 1867. Es decir, muchos se anticiparon aparentemente a la legislación que los afectó, la Ley de 1864, aunque no sería de extrañar que fueran precisamente los problemas de su primer desarrollo los que expliquen las limitaciones de esta ley.

«Se conocerán como obras de ensanche aquellas destinadas a proporcionar mayor extensión a las poblaciones para su desarrollo y engrandecimiento». Vimos que esta era la definición del proyecto frustrado de Posada Herrera de 1861. Como quedó dicho, la novedad de este proyecto consistía en que trataba de regular el derecho de propiedad por medio de un sistema de limitaciones de dominio, cesión gratuita y obligatoria de terrenos para viales, determinación de parcela mínima edificable, fijación de anchura de las calles y de altura de los edificios, enajenación forzosa por incumplimiento del derecho de edificación y reforzamiento de la expropiación forzosa. La realidad fue por derroteros muy distintos.

La Ley de ensanches de poblaciones de 1864 y su Reglamento de 1867 empezó por definirlos como «la incorporación a la [población] de los terrenos que constituyen sus afueras, en una extensión proporcionada al incremento probable del vecindario, a juicio del Gobierno, siempre que aquellos terrenos hayan de convertirse en calles, plazas, mercados, paseos, jardines y edificios urbanos». El ensanche se concebía así como una operación urbanística para estimular la edificación. Nada se decía de las obligaciones específicas de los propietarios, que quedaban, por tanto, limitadas a respetar las alineaciones. Expropiaciones de terrenos de uso público, urbanización, realización de los servicios, todo quedaba a cargo de la gestión municipal. Para financiar el ensanche hubo que allegar recursos especiales y estimular fiscalmente la cesión voluntaria de terrenos. Todo ello, muy lejos del espíritu de Cerdá, y no solo de él.

Los ensanches tienen bastante en común desde el punto de vista morfológico, sobre todo por la regularidad de los planos ortogonales. Lejos quedaban las soluciones orgánicas y la atención a datos ambientales de las que hablaban las bases de la Junta Consultiva en 1853. La cuadrícula se sobrepone habitualmente, ignorando las

⁶³ A. SERRATOSA, 1999.

topografías sobre las que se sitúa, como si las «condiciones de localidad» de las que el autor del proyecto de Madrid, Carlos María de Castro, habla en su memoria, solo intervinieran a otra escala, la del diseño.

Como desarrollo de las cuadrículas, los ensanches comparten también otros aspectos formales, como son las calles anchas y rectas, de las que Solá dice con razón que suponen su mejor memoria, la mejor tradición que han legado. También coincidían los proyectos en la anchura media de las calles: unos 15 m, con unos intervalos comprendidos entre 12 y 30 m, lo que entrañaba el final de las calles estrechas. Entre los aspectos compartidos está finalmente el que los autores programaran una distribución de los usos por mitades: mitad residencial y mitad espacio abierto.

Pero los grandes ensanches de Barcelona y Madrid tienen también muchas diferencias entre sí; para empezar y sobre todo, la falta de ambición teórica de Castro. No esconde este ingeniero que se ha inspirado en Cerdá y no regatea elogios al proyecto de Barcelona, pero la memoria que acompaña a su plan es, dice Antonio Bonet, «seca y desabrida [...], sin vuelos»⁶⁴. Parece incluso que el director general de Obras Públicas consideró que el proyecto de Castro no resistía la comparación con el de Cerdá. El Real Decreto para la creación del ensanche de Madrid había pedido que se subordinara «el proyecto a pensamiento completo [...], unidad, orden y concierto». Si se comparan ambos proyectos aparecen cuatro diferencias principales. Primero, el ensanche de Barcelona es abierto, no está encerrado como el de Madrid en el recinto del foso. En segundo lugar, el de Madrid no se preocupa de la conexión con la ciudad, mientras que en Barcelona, tanto en el proyecto de Cerdá como en los demás presentados al concurso municipal, se presta a esta cuestión atención preferente. Tercero, la propuesta de Castro entraña una zonificación social (con un barrio de Salamanca aristocrático y un sur popular e industrial) a la que la de Cerdá es absolutamente ajena, optando por el igualitarismo. Cuarto, las premisas urbanísticas de Castro se basan en la distribución de las manzanas, sin verdadera preocupación circulatoria, al contrario que las de Cerdá. En todo caso, como bien ha demostrado Rafael Mas, uno de los mejores conocedores del proceso del ensanche madrileño, del plan de Castro solo perduró el trazado básico de las calles: se perdieron las regulaciones de uso previstas, las zonas verdes, los patios de manzana.

No es este lugar para narrar el largo enfrentamiento que se produjo entre Barcelona y el Gobierno central a propósito del encargo del ensanche a Cerdá por parte de Fomento, mientras que el Ayuntamiento entendía que era de su competencia⁶⁵. El gran perjudicado fue sin duda el propio proyecto del ingeniero, que se vio menospreciado en Barcelona por contar con el apoyo de Madrid. Sabido es que en el concurso convocado por el Ayuntamiento el jurado prefirió el proyecto presentado por el arquitecto-

⁶⁴ A. BONET, 1978. La referencia admirativa de Castro a Cerdá está en la página 93.

⁶⁵ E. GIMENO, 1994.



16.7. Propuesta del ensanche de Barcelona de Ildefonso Cerdá (1859): La propuesta fue aprobada por el Ministerio de Fomento, mientras que el Ayuntamiento de la Ciudad Condal premiaba el proyecto más arquitectónico de Antoni Rovira, en el que las calles irradiaban hacia los pueblos del llano de Barcelona desde la ciudad central. Aunque la cuadrícula sea el elemento más visible de la propuesta, resultaba de una elaboración teórica completa que perseguía la ciudad igualitaria, cohesionada, transitable y salubre. La retícula es una construcción geométrica regular y constante, de modo que las manzanas tienen 133,3 m de lado y sus vértices truncados en forma de chaflán de 15 m, con lo que la superficie resultante es de 1,24 hectáreas. Los chaflanes se justifican por la necesidad de visibilidad para el transporte (el ingeniero pensaba en locomotoras privadas). En cada manzana Cerdá concibió varias formas de disponer los edificios, entre las cuales dos principales: con dos bloques paralelos en lados opuestos y con los edificios en forma de L. La alineación de varias manzanas del primer tipo daría largos jardines atravesando las calles; la disposición conveniente de cuatro manzanas del segundo tipo dejaría un gran jardín central cuadrado rodeado de edificios. (Un plano análogo, sin la propuesta del ensanche, se reproduce en la fig. 2.15 de este mismo volumen).

to Antoni Rovira i Trias⁶⁶. El dictamen fue breve y resaltaba el acierto de Rovira al dirigir el crecimiento con la misma ley que en el pasado, «irradiando las calles desde los confines de la ciudad actual para enlazarla fácil y naturalmente con los pueblos inmedia-

⁶⁶ Bajo el significativo lema de «Le tracé d'une ville est œuvre du temps plutôt que d'architecte». El arquitecto municipal Garriga, que había hecho ya un anteproyecto en 1857 y presentó al concurso hasta seis variaciones, se mostró muy defraudado con el fallo, aunque realmente fue él quien acabó desarrollando y modificando el plan Cerdá en los años sesenta.

tos, cuyo caserío se conserva por completo»⁶⁷. Sin embargo, en el juicio crítico al que fue sometido el proyecto de Rovira, posiblemente por inspiración de Cerdá, se le reprochó supeditar cualquier tipo de funcionalidad a la belleza, no hacer más que un plano acompañado de una descripción sin memoria de viabilidad, sacrificar al formalismo la funcionalidad y particularmente las vías de circulación, el puerto y el ferrocarril, limitar el desarrollo y no decir nada sobre la reforma interior⁶⁸. Los argumentos a favor y en contra de los proyectos de Cerdá y Rovira expresan la oposición entre dos conceptos del urbanismo, el más ingenieril y funcional y el más arquitectónico y organicista, oposición muy característica del final del reinado de Isabel II.

La polémica se reprodujo en Madrid en otro contexto cuando la revolución de 1868 le confirió al Ayuntamiento de la capital personalidad y autonomía. El concejal Fernández de los Ríos reprochó al plano de Castro que sacrificara la realidad a la cuadrícula para dar gusto a la regla y al tiralíneas. Pero, sobre todo, le achacó el haber supeditado la trama prevista del ensanche a los intereses de ciertas localidades y determinados propietarios, con lo que habría impedido el desarrollo natural de algunas arterias de Madrid⁶⁹.

De modo que el autor daba por terminada la vigencia del plano de Castro en todo lo que no fuera línea de circuito y proponía levantar un nuevo plano del ensanche posible y no ilusorio, obrando con inflexibilidad en punto a rasantes y obligaciones y dejando todo lo demás en libertad.

El proceso de ocupación de los ensanches, retrasado por las retenciones de suelo, favoreció que se desvirtuaran los proyectos. Ildefonso Cerdá tuvo un papel activo en los primeros años de construcción del de Barcelona, pero desde 1865 solo pudo intervenir de forma indirecta y puntual, mientras permaneció en la Diputación, ya que el Ayuntamiento fue cobrando protagonismo y —por una paradoja de la historia— acabó siendo Garriga, el arquitecto municipal derrotado en el concurso, el encargado de ir adaptando el plan a los desarrollos. Se mantuvieron los parámetros de las alineaciones, pero se fueron cambiando los usos de las parcelas y las condiciones de edificación. Cerdá abandonaba Barcelona en 1875 convencido de haber dado todo por la ciudad sin que esta le reconociese sus desvelos.

Una transformación parecida ocurría en Madrid. Ya por Real Decreto de reforma de 6 de abril de 1864, firmado por Cánovas como ministro de Gobernación, se culpaba a las condiciones de edificación del alza de los terrenos y de la lentitud en la ocupación. «El alza de los precios de los terrenos y las reglas para que la elevación de las casas fuera solo de tres pisos, destinando a jardín la mitad de su superficie, ha contribuido a que la edificación no se desarrolle a medida de las necesidades de la pobla-

⁶⁷ F. ESTAPÉ, 1968, p. 522.

⁶⁸ REDACCIÓN, 1860, pp. 555-558.

⁶⁹ Á. FERNÁNDEZ DE LOS RÍOS, 1989, pp. 198-199.



16.8. Construcción de la Gran Vía: Barcelona (Arxiu Fotogràfic de l'Arxiu Històric de la ciutat).

ción». En consecuencia, se aumentaban a cuatro las plantas posibles y se reducía la superficie que había que dejar para patio o jardín al 30% en las manzanas de más de una hectárea y al 20% en las menores de esta superficie⁷⁰. Poco después se le aplicaban al ensanche las normas constructivas del casco. En definitiva, los intentos de Castro de establecer condiciones de edificación habían fracasado. Mientras tanto y paradójicamente las dos piezas de ensanche no incluidas en el plan Castro conocieron un veloz desarrollo. Se trataba de dos patrimonios segregados del Real: Príncipe Pío para dar lugar al barrio de Argüelles y la parte occidental del Retiro. En junio 1864, como ha quedado dicho, se dictó la Ley sobre ensanche de las poblaciones que comprometía la gestión municipal de la urbanización. Fue sustituida más tarde por las juntas de ensanche.

Si volvemos ahora al conjunto del entorno urbano, constatamos que desde finales del período isabelino las cosas van a discurrir de distinto modo en cascos, ensanches y extrarradio, aunque no se puedan entender las evoluciones por separado. Por la realidad implacable de los hechos y de los intereses, la idea liberal de los ensanches como desahogos de los cascos e instrumento de una ciudad más equitativa y

⁷⁰ Porcentaje que luego se reduciría al 12% y más tarde quedaría en suspenso.

LA CUADRÍCULA URBANA

El plano urbano ortogonal, en cuadrícula o en damero —del que el ensanche de Barcelona de Cerdá y el de Madrid de Castro son las dos grandes referencias—, ha sido el habitual de los ensanches del Ochocientos en España. Se suele además decir, sin que haya total fundamento, que la cuadrícula era doctrina en las escuelas de Caminos.

Sin embargo, ni el plano en damero es original del Ochocientos ni mucho menos se pueden considerar los planos de ensanche decimonónicos como resultado de un proceso secular de elaboración. De hecho, en muy distintos momentos históricos se ha recurrido en el diseño urbano a planos regulares, asociados en general a colonización de territorios, pero no se puede establecer una continuidad entre ellos.

Durante mucho tiempo se habló de plano hipodámico para este tipo de trazado al atribuir a Hipódamo de Mileto trazados de calles que se cortaban en ángulo recto. Sin embargo, tanto en Egipto como en Babilonia se dieron trazados ortogonales anteriores a Hipódamo. Como es bien sabido, sea por herencia de las ciudades itálicas, sea por influencia de las colonias militares de perímetro rectangular, la *urbs* romana era de plano cuadrangular con dos grandes ejes interiores: el *cardo*, de dirección N-S, y el *decumanus*, de trazado E-O.

En la Edad Media, durante los siglos XII a XIV se edificaron en algunas regiones europeas, particularmente en Gales y en Aquitania, *bastides* o ciudades defensivas de planta regular, con manzanas homogéneas divididas en *placae*, es decir, casas con su parcela de jardín, todo ello numerado al modo militar. En Inglaterra la colonización a través de bastidas tuvo a menudo una base económica marítima, mientras que en Gascuña se trataba sobre todo de ciudades campamento abiertas en una zona boscosa densa. En España el modelo de bastida dio casos excepcionales como los de Briviesca o Salvatierra.

Los trazados a cordel fueron los habituales en el urbanismo colonial americano partiendo de una plaza mayor con la iglesia y el consejo. A partir de ahí, lo usual era sortear o repartir los solares: «planta de lugar con plazas, calles y solares a cordón y regla, empezando por la plaza mayor sacando las calles a puertas principales dejando espacio previsto para crecimiento». Pero también a la cuadrícula recurrieron fundadores y pioneros en los países nuevos como sistema más simple de dividir y controlar el territorio. Su mayor ventaja consistía en que una ciudad nueva podía ser planificada desde los estados mayores de la colonización, y los solares vendidos sin que ni vendedor ni comprador hubieran visto el lugar. En cambio, la ciudad argentina de La Plata, fundada en 1882, tuvo desde el principio una voluntad dominante de forma final y, aunque se recurre a la cuadrícula como instrumento eficaz para un desarrollo veloz, se proyecta con idea completa de ciudad acabada, no como esquema ilimitado. Ha permanecido inalterado el conjunto de la traza, mostrando, como ha escrito Fernando de Terán, su capacidad de soporte, mientras cambiaba de modo radical el desarrollo arquitectónico y aumentaba el aprovechamiento volumétrico de la parcela.

Esa traición a un proyecto total y coherente es lo que le ocurrió al ensanche de Cerdá en Barcelona. No se debe bajo ningún concepto ver el plan Cerdá solo desde la óptica de la cuadrícula, que es, de hecho, la traducción geométrica de su teoría general de la urbanización, basada en la habitabilidad, la equidad, la vialidad y la conectividad. El tamaño regular y la doble ventilación de la más pura manzana cerdiana (por la calle y por el patio interior) garantizaban la ciudad igualitaria, salubre e higiénica. Por eso el ingeniero llamó a su proyecto de manzana «Construcción geométrica de varios casos de distribución higiénica en una ciudad». Ortogonal es también el trazado de Carlos María de Castro para los ensanches de Madrid, aunque sobre bases conceptuales mucho más pobres. Sabido es que los intereses locales y los comportamientos especulativos de los propietarios del suelo impidieron el normal y paulatino desarrollo de los ensanches y traicionaron las previsiones económicas, al menos las de Ildefonso Cerdá. De modo que, como en casos antes citados, queda solo el plano ortogonal como mejor memoria de lo que los teóricos del crecimiento urbano pensaron.

saludable no funcionó. Los ensanches tardaron en crecer, lo hicieron a saltos, al ritmo que marcaban los propietarios, y se convirtieron, de hecho, en reservas de suelo a largo plazo.

Las restricciones constructivas y urbanísticas que habían establecido sus creadores en los proyectos fueron desvirtuadas, con lo que los ensanches se fueron densificando. Con un agravante, que han subrayado con acierto Dolores Brandis y Rafael Mas: como las manzanas eran muy anchas, porque se pensaba albergar mucho espa-



16.9. Anteproyecto del ensanche de Madrid de Carlos María de Castro (1860): Había habido un primer proyecto de ensanche del ingeniero Juan Merlo (1847) que fue rechazado por prematuro por el concejal Mesonero Romanos, quien puso en marcha, en cambio, un plan de reforma interior. A diferencia del de Barcelona, la propuesta de ensanche de Castro para Madrid lo encerraba en el recinto de un foso; además, diferenciaba en él una zona aristocrática y burguesa, el barrio de Salamanca, y otra popular e industrial, al sur. Del plan de Castro solo perduraron los trazados de las calles, mientras que las regulaciones de usos previstos, las zonas verdes y los patios de manzana se perdieron.

cio abierto, se permitió un desaforado crecimiento de viviendas interiores. En Madrid no se prohibieron como en Barcelona y en Valencia, y hay zonas y manzanas absolutamente colmatadas y con patios de luces que son verdaderos tubos⁷¹.

Pero además, como el ensanche no suponía demasiado alivio, por su falta de ocupación, su carácter de reserva especulativa y su destino a las clases burguesas, la situación del casco y, sobre todo, la del extrarradio empeoró. Ninguna restricción impidió allí el desarrollo de la vivienda obrera y popular al ritmo que iba creciendo la demanda. Por insuficientes que fueran, al menos en el casco y en el ensanche existían normas urbanísticas, lo que no ocurría en el extrarradio.

V

LOS PROBLEMAS DE LA CIUDAD FINISECULAR

V.1. *El retorno a la reforma interior y los problemas de saneamiento*

[La Ley de ensanches de 1864] se plagió, pero mal, de mis informes y de mi plan económico [...]. Yo, según el sistema establecido en mi plan económico y en la teoría de regularizaciones y compensaciones, hago que la calle sea costeadada por el propietario del suelo, como es justo ya que le sirve de instrumento para aumentar el séxtuplo de su valor. La ley faltando a este principio de buen sentido, de equidad y de justicia hace que la calle sea pagada a costa de la construcción, ya que se indemniza al propietario con el producto del exceso de contribución que solo a la construcción es debido. Supuesto que al fin y a la postre todos los gastos que se hagan en el ensanche han de ser costeados por el ensanche, ¿a qué cobrar primero para indemnizar luego? ¿Es que se cobra inicuiamente del capital construcción para regalar indebidamente al capital terreno que no pone nada en el asunto y que, no obstante, sextuplica su valor?⁷²

Con esta amargura se expresaba un «despojado» Cerdá en los últimos años de su vida en relación con los mecanismos económicos con los que se estaban llevando a cabo los ensanches. Martín Bassols ha estudiado con detenimiento la influencia del ingeniero en la fundamentación jurídica de la urbanización y cómo su caudal de ideas fue utilizado y, en su caso, desvirtuado. De hecho, concluye Bassols, las comisiones de ensanches convirtieron a estos en zonas fiscales privilegiadas en relación con la ciudad, «al modo como antaño habían actuado las murallas físicas»⁷³. Olvidada la doctrina cerdiana, se habría producido un reduccionismo urbanístico, una práctica sin teoría de construcción de la ciudad.

Como los ensanches no aliviaron los problemas de vivienda, los extrarradios cayeron en el mayor de los descontroles urbanísticos, con grandes problemas de salubridad y seguridad. Al haberse retrasado su desarrollo, la reforma interior recuperaba

⁷¹ D. BRANDIS y R. MAS, 2002, pp. 201-212.

⁷² I. CERDÁ, 1869-1875 en 1991c, § 26.

⁷³ M. BASSOLS, 1999, p. 208.

a su vez protagonismo: se empezó por promulgar una ley de expropiación forzosa en 1879 en la que se reconocía la expropiación por zonas laterales y paralelas a la vía pública hasta 20 m. En 1895 se dictaba la Ley de saneamiento y mejora interior de las grandes poblaciones. Aparte de precisar la cuestión de las expropiaciones, se recurría a la vía de las concesiones, dando entrada así a un nuevo protagonismo empresarial. En todo caso, la ley era de aplicación compleja y conflictiva y no podía resolver enteramente los problemas que se estaban planteando en los planes de reforma.

Así lo muestran, por ejemplo, las vicisitudes que atravesó el proyecto de reforma de la Barcelona vieja del arquitecto y hombre de negocios Ángel Baixeras, que había intervenido en la gestación de la Ley de expropiación forzosa; en 1881 era aprobado su plan de reforma interior que afectaba a buena parte de la ciudad vieja y suponía la expropiación de más de dos mil fincas particulares y la apertura de tres grandes vías. La gran oposición que encontró motivó el aplazamiento del proyecto, y solo en 1898, muerto ya el protagonista y aprobada la Ley de 1895, el Ayuntamiento que lo había adquirido obtuvo la autorización para llevarlo parcialmente a cabo, en concreto con la apertura de la vía Layetana. Con todo, la realización de esta vía supuso la desaparición de 2.199 viviendas sin ofrecer a los residentes posibilidad de realojo y con la eliminación de más de 80 calles. Constituye un buen ejemplo de las operaciones de «destrucción creadora» de la época⁷⁴. Por su parte, en Madrid, aunque la Gran Vía pertenece por entero al siglo xx, se gestó largamente en el Ochocientos: concebida inicialmente en 1862, es a finales de siglo cuando se presentan unos trazados que culminan en el encargo de 1898 del alcalde conde de Romanones a los arquitectos municipales. Mientras tanto, el ingeniero Arturo Soria proyectaba (1892) la Ciudad Lineal, convencido de que «hacer una ciudad nueva es mucho mejor que remedar una vieja».

Pero a finales de siglo lo más urgente era sin duda la preocupación por el saneamiento, como prueba que la Ley de 1895 pusiera igual énfasis en los servicios de mantenimiento que en los tradicionales de demolición y reedificación. Las soluciones de higiene social, partiendo de la información detallada de la que se iba disponiendo sobre mortalidad, morbilidad, pauperismo y mendicidad en las ciudades, se planteaban en muchos foros políticos y técnicos. Numerosas obras dan testimonio de cómo se había agravado la situación, desde *La cuestión de la vivienda* de Felipe Monlau de 1850 hasta *Madrid bajo el punto de vista médico-social* de Hauser de 1902 o *La vivienda insalubre* de Chicote de 1914⁷⁵.

Entre los ingenieros es sin duda Pedro García Faria el que más aportaciones hizo a esta cuestión. En una conferencia pronunciada en 1886 en el Ateneo barcelonés, dedicada al saneamiento de las poblaciones, repasaba las condiciones sanitarias de las setenta capitales de provincia y mayores poblaciones del país, para concluir que se

⁷⁴ Esta expresión de Keynes es utilizada para la reforma urbana por J.-A. SÁNCHEZ DE JUAN, 2000. También, M. BASSOLS, 1996, p. 58.

⁷⁵ Ph. HAUSER, 1979.

daban tasas medias de mortalidad anual cercanas al 40%, el doble de las de Londres y otras metrópolis manufactureras, en donde las condiciones climáticas podían ser potencialmente peores. Ante esta situación convocaba a «los abogados, los médicos, los ingenieros, los arquitectos, los higienistas, todos en fin», a que con su conocimiento ayudaran a resolver las diferencias entre «lo que son y deberían ser las poblaciones españolas». Se declaraba convencido de que la demolición de barriadas de casas viejas y malsanas y su sustitución por otras acordes con preceptos higiénicos podría reducir la mortalidad, como, según él, había ocurrido en Londres, desde el 50 hasta el 13%.

En Barcelona también observamos que durante la última epidemia, las calles estrechas, lóbregas y malsanas resultaron fuertemente castigadas, mientras las anchas y menos insalubres solo han sufrido débilmente. De las 18 calles en que la mortalidad por cólera excedió de 10 individuos, no hay una sola que pertenezca al ensanche [...] así es que la población, barrio o calle que sea de ordinario malsana se halla sumamente expuesta a sufrir cruelmente en cuanto se presente, con carácter epidémico, una enfermedad cualquiera⁷⁶

El ingeniero abogaba, pues, por demoliciones y aperturas que se justificarían por razones de higiene y desahogo. García Faria fue, entre otras cosas, el autor del plan general de saneamiento de la ciudad de Barcelona⁷⁷, del proyecto de rectificación y canalización del Llobregat para evitar las aguas estancadas y de unos apuntes acerca de la urbanización y saneamiento de Madrid. Es en este sentido un buen ejemplo de la forma en que un ingeniero finisecular estaba dedicado a los temas urbanos.

V.2. La Junta Consultiva de Urbanización y Obras y la situación urbana finisecular según los técnicos municipales

La tramitación parlamentaria de la Ley de ensanche de 1892 supuso la sustitución del Ministerio de Fomento por el de Gobernación en las competencias en materia urbanística. El departamento de Gobernación se planteó entonces de nuevo la necesidad de una junta central que lo auxiliara en estos asuntos, al estilo de la Junta Consultiva de Policía Urbana de los años cincuenta. Así, por Real Decreto de 16 de junio de 1892 se creó la Junta Consultiva de Urbanización y Obras (JCUO). Tenía la encomienda de informar sobre todas las cuestiones relacionadas con «reforma, ensanche y saneamiento de poblaciones, apertura de calles, plazas y paseos, alineaciones, rasantes, aceras, empedrados, redes de alcantarillado, de abastecimientos de aguas, de tranvías urbanos o de cualquier otro servicio municipal o provincial en el subsuelo, en el suelo o aéreo». La composición del nuevo organismo era eminentemente técnica, pero con representación de los presidentes de la Asociación de Propietarios, la Sociedad del Círculo Mercantil y la Española de Higiene.

⁷⁶ P. GARCÍA FARIA, 1886.

⁷⁷ J. SURIOL, 2002. También, M. Á. MIRANDA, 2006.

Cuatro años después, por Ley de 16 de septiembre de 1896 se establecía que la JCUO fuera oída en las cuestiones de valoración de terrenos para enajenación y se le encargaba proponer un plan de reformas del interior de Madrid, teniendo presentes las aprobadas por el Ayuntamiento, y otro de urbanización de los alrededores en un radio que no excediera de 8 km desde la Puerta del Sol. De modo que, como ocurriera con la primera Junta, una institución de carácter nacional veía cómo se le encomendaban prioritariamente labores sobre todo madrileñas. La JCUO fue suprimida en 1901, reestablecida en 1903 con el nombre de Junta de Urbanización y Obras y definitivamente suprimida en 1924 a raíz de la publicación del Estatuto Municipal.

No parece que su labor llegara a ser demasiado trascendente, aunque sus primeras iniciativas, la de tratar de establecer orden y método en las obras de reforma, el requerimiento de servicios facultativos en las diputaciones y los ayuntamientos y la propuesta de distinción entre las obras públicas de arquitectura civil y las que deberían estar a cargo de los ingenieros, incidieran en el debate secular que he evocado a lo largo de estas páginas. Tampoco su dictamen sobre el Plan de Reformas de Madrid de 10 de diciembre de 1899 parece haber tenido mucho recorrido, a pesar de partir de la importancia que «para la Nación [tiene] que su capital cambie de modo de ser». El texto que acompaña al dictamen anticipa cierta mediocridad de ideas y de objetivos, ya que en él se encuentran expuestos sin demasiada brillantez todos los tópicos de la época. «La reforma de Madrid y su término [dejando grandes superficies sin edificar para evitar la densidad de los lugares poblados] significan la disminución de un 50 % en la mortalidad, o sea la de arrancar nueve mil vidas a la muerte que representan una millonada de aumento en el capital y una disminución considerable de lágrimas y gastos»⁷⁸.

Más interesante es la llamada que desde la JCUO se hace para contribuir a resolver con las obras urbanas una crisis de trabajo que se califica de verdaderamente abrumadora:

Los miembros de la Junta observan cuadros horriblos de miseria, las privaciones, las luchas invencibles por la existencia que llevan el luto y la desesperación a las clases obreras e industriales: la Junta llama la atención sobre la necesidad de proporcionar trabajo. La Junta quiere proponer proyectos de obras inmediatos para salvar la crisis obrera⁷⁹.

Más de un siglo después, la iniciativa más interesante de la Junta parece haber sido la realización de una encuesta a capitales de provincia y poblaciones grandes en los años 1894 y 1895⁸⁰. Los expedientes que se conservan constituyen un buen testi-

⁷⁸ Dictamen de la Comisión de la JCUO para el Plan de Reformas de Madrid, 10 de diciembre de 1899. AGA 08 25 44/43.

⁷⁹ *Ibíd.*

⁸⁰ El cuestionario consta de nueve preguntas, la primera referida a la existencia de plano de población actualizado; la segunda y la tercera, respectivamente al abastecimiento de agua y a la red de alcantarillado; la cuarta y la quinta, a los equipamientos y servicios públicos existentes y las obras municipales previstas; la sexta, al presupuesto municipal; la séptima, a las ordenanzas; y la octava y la novena, al número y el tipo de trabajadores que se podrían emplear desde el Ayuntamiento, así como a la petición de sugerencias para aliviar la crisis obrera.

monio de la situación de las ciudades españolas a fines del Ochocientos, dado el esmero con el que contestaron la mayor parte de los arquitectos municipales. Conviene que entremos en algún detalle por tratarse de documentación no utilizada hasta ahora, que yo sepa, aunque el número de ciudades con respuestas sea exiguo⁸¹.

Para empezar, se pone de manifiesto el retraso de los planos de población desde la lejana disposición de 1846. En la mayor parte de los casos no está actualizado, no se dispone de plano de alineaciones; todo lo más, de los de ensanches y de rectificaciones sobre viejos planos de los años cincuenta y sesenta; en algunos casos incluso solo se cuenta con el de Coello. La mayor parte de las ciudades, cuyas respuestas al cuestionario se conservan, tienen encargado nuevo plano de población, ya sea a ingenieros de caminos, ya sea a los propios arquitectos que firman la memoria. Como caso único, en Huesca se dice disponer de un plano excepcional, levantado en 1891, a escalas 1:1.000 y 1:500, además de planos detallados de todas las calles a 1:100 con sus perfiles longitudinales. En cambio, el arquitecto de Huelva, que firma la memoria sin duda más completa e ilustrada, muestra su escepticismo respecto del planeamiento al reconocer que de alguna forma hay plano, pero como si no lo hubiera.

No ha habido mucho empeño [en hacer los planos] por mis antecesores porque, si bien al presentarse y tramitarse los planos parcelarios con arreglo a la ley no se hacían observaciones ni por los propietarios ni por los Ayuntamientos, en cuanto ha habido que construir alguna casa de *algún influyente* las líneas marcadas en los planos parcelarios se han modificado en la forma que a un mal entendido interés ha convenido [...]. Solo ha prevalecido el espíritu de sórdida avaricia en el aprovechamiento de los terrenos.

La situación sanitaria se describe, en la mayor parte de las poblaciones, como precaria, a veces desastrosa. Por extraño que sea, el abastecimiento de agua no parece en general preocupar tanto por la cantidad (se habla con bastante frecuencia de una disponibilidad de cien litros por habitante y día) como a causa de su gran irregularidad estacional o también de su escasez debido al control ejercido por propietarios privados de los manantiales (como ocurre en Avilés con los marqueses de Ferrera), y sobre todo la falta de potabilidad, en función de las filtraciones de las galerías⁸². Es llamativa ya en esta época la presencia de empresas extranjeras en el abastecimiento de agua a las ciudades, como ocurre, por ejemplo, en el caso de Sevilla o en el de Zamora, con una concesión desde 1871 por ochenta años, mientras que en Logroño se dis-

⁸¹ He encontrado en el expediente AGA 08 25 44/43 las respuestas a los cuestionarios de las siguientes poblaciones: Alcalá de Henares, Avilés, Gijón, Haro, Huelva, Huesca, Lérida, Logroño, Oviedo, Paterna, Segovia, Sevilla, Toledo, Valencia y Zamora. Todas las referencias tienen esta procedencia.

⁸² El arquitecto de Huelva dice de modo expresivo que, según las dos pruebas tradicionales, el agua «corta el jabón», es decir, no hace espuma, y «la cochura del garbanzo resulta deficiente»; además, se pierde transparencia en ebullición. La calidad del agua es tan mala —concluye el informante— que todos los que pueden se traen agua para beber de la sierra, y en especial los empleados de la empresa Río Tinto, que la transportan en el ferrocarril.

pone de agua suficiente y en perfectas condiciones, iluminada desde el Iregua, gracias al proyecto de conducción encargado por el Ayuntamiento al ingeniero de caminos Amós Salvador y Rodrigáñez. En bastantes casos se constata la concurrencia de usos, al detraerse agua de las conducciones para regar las huertas.

La situación de los alcantarillados y de la extracción de aguas fecales es, a decir de los informantes, aún más grave. Las redes no suelen tener la extensión suficiente, por lo que dejan muchos barrios a merced de pozos negros, ni buenas condiciones de construcción e impermeabilización, ni pendiente ni presión del agua bastante para el arrastre, con lo que se convierten en focos infecciosos permanentes. Casi todos los testimonios coinciden en plantear la construcción de colectores como una de las grandes prioridades municipales a las que debe contribuir el Estado. En suma, las condiciones sanitarias son precarias:

Huelva ha pasado a ser una de las [poblaciones] más insanas de Andalucía, casi iguala a Madrid, pues todas las epidemias se estacionan adquiriendo algunas como la difteria carácter endémico pues no desaparece desde hace más de ocho años que hizo su aparición.

En lo que se refiere a equipamientos y servicios públicos, ya sean provinciales o municipales, lo más llamativo es que la mayor parte de las dependencias seguían ubicadas en antiguos conventos procedentes de la desamortización, careciéndose de edificios propios y de requisitos mínimos. Son muchas las escuelas en pisos particulares, y aterradora la situación de las cárceles, hasta el punto de que en estas condiciones, dice uno de los informantes, la sociedad es tan culpable con los reclusos como ellos con la sociedad:

el desgraciado que en este local [el presidio del antiguo convento de Santo Tomás] tiene que extinguir una condena, si sobrevive, sufre toda su vida las consecuencias de la anemia, el reumatismo, y otras diálisis que la falta de aire, de luz y calor determinan y además como punto culminante, aparte de la caridad que esos desgraciados inspiran, su deplorable situación que pueda ser causa determinante de su perturbación en la salud general de la población. [Alcalá de Henares].

Mercados, cementerios y mataderos parecen haber sido objeto de mayor atención y en algunos casos se habla de edificios nuevos y ubicaciones más adecuadas, aunque la insuficiencia, «la falta de las condiciones exigidas por el progreso», seguía siendo la norma.

Los temas de urbanismo remiten a los que hemos ido siguiendo desde el principio de este trabajo. Para empezar, se considera en más de una ocasión que los terrenos accidentados y las tramas urbanas tortuosas son incompatibles con la higiene, la comunicación, el ensanche residencial y el tráfico, lo que reclamaría «grandes reformas de urbanización que abr[ieran] mayores espacios a la acción vivificadora del aire y de la luz» (Oviedo). En Segovia lo que parece inadecuado para un trazado perfecto es «la situación de la ciudad sobre una elevada roca, su falta de superficie y lo muy irregular de la planta».

En consecuencia, los proyectos urbanos se dirigen, pues, culminando el espíritu del siglo, a derribar barrios miserables, abrir grandes vías y hacer paseos de circunvalación. Es además el modo que los ayuntamientos encuentran de contribuir a aliviar el paro obrero y agrícola, siempre que el Estado elimine trabas, aligere los trámites de las obras públicas y evite rivalidades que estiman innecesarias y perjudiciales entre arquitectos e ingenieros. En Valencia existe el proyecto de dos grandes vías y un gran paseo desde la ciudad al mar; en Lérida se necesita terminar el paseo de circunvalación por detrás del castillo y desmontar la calle proyectada en el glacis del mismo; en Oviedo se menciona la necesidad de ampliar los ensanches con nuevas vías que al aumentar el suelo edificable contribuyan a abaratar los solares. En Huesca se considera obra utilísima el ensanche del Coso Bajo (al que debería contribuir el Estado por coincidir con carretera de tercer orden) y la construcción de un paseo paralelo al mismo, cuyas expectativas parecen claras: «Como no existe lugar alguno que merezca este nombre y el descrito puede emplazarse tan ventajosamente, no es aventurado suponer que, en breve tiempo, se irán llenando las proximidades de este paseo con las mejores construcciones de la capital». Para estos y otros proyectos, la propiedad y la expropiación constituyen un obstáculo.

Se deja sentir la necesidad de una ley que permita la expropiación de una casa, tan pronto como se demuestre su falta de condiciones higiénicas y la revisión de la vigente ley de expropiación forzosa, que viene a ser en muchos casos la valla donde se detienen los más hermosos proyectos de ensanche y reforma de población, sobre todo para las que tienen menos de 5.000 habitantes, por la multitud de trámites que exige, lo largo de los plazos que fija, y el cúmulo de garantías que concede a la propiedad, cuyo derecho, si es sagrado, no lo es menos el de proporcionar a la clase obrera los medios de subsistir. [Avilés].

En los últimos años del siglo XIX las ciudades españolas tenían, pues, problemas comunes y compartían soluciones, pero con diferente perspectiva y actitud, como se advierte en el distinto tono de las respuestas al cuestionario de la Junta Consultiva de Urbanización, por mucho que la muestra de las diecisiete conservadas no pueda tomarse como representativa. Las ciudades castellanas y andaluzas muestran un hondo pesimismo, mientras que las industriosas asturianas hacen gala de mayor confianza⁸³, lo que también ocurre en algunas con mayor capacidad de emprendimiento, como Logroño o Huesca. En casi todos los casos se conocen bien los problemas y los obstáculos, que han sido los propios del siglo que terminaba: los propietarios del suelo, la dificultad de las expropiaciones, la lentitud administrativa, la falta de presu-

⁸³ En Gijón se calcula un desarrollo industrial que podría dar trabajo a más de tres mil personas, a las que habría que sumar los marineros, los pescadores y los que faenaban en el puerto. Si a ello se añade la previsión de visitas por un primer turismo de baños de mar y el retorno de emigrantes ricos de América, no tendría por qué hablarse de crisis. La misma sensación de impulso inmediato se percibe en Avilés tras la conclusión del puerto y la buena comunicación con Oviedo.

puesto, los conflictos y las rivalidades técnicas. Las soluciones que se proponen también responden al espíritu del siglo, sin duda con menos entidad teórica que algunas de las grandes formulaciones, a veces con soluciones haussmannianas fuera ya de época, pero con conocimiento técnico suficiente.

No cabe dudar que las ciudades españolas finiseculares habían transformado su imagen a lo largo del siglo. Se ha dicho para Madrid que, si se compara el plano de la ciudad que ocuparon los franceses en 1808 con el de Faustino Cañada de 1900, se puede medir bien, además del crecimiento superficial, la sustancial mejora experimentada en todos los órdenes. Pero también es cierto para otras ciudades. Se abrían además nuevas perspectivas que los nuevos ingenieros con capacidad teórica y práctica como Arturo Soria iban a recorrer. Pero una vez más no cabe olvidar que profesionales y técnicos más modestos percibían la posibilidad de cambiar el curso de los acontecimientos, de revalorizar medios y lugares favorables a través de las mejoras. Terminaré por ello con el testimonio de Manuel Pérez y González, arquitecto de Huelva, en su contestación al cuestionario de 1894, cuando se muestra convencido de que las reformas higiénicas y el embellecimiento podían dar lugar a la afluencia de forasteros que el clima templado atraía y que solo alejaban las malas condiciones sanitarias.

BIBLIOGRAFÍA

- AGUILAR Y VELA, José: «Remitido: Contestación a las observaciones sobre las competencias profesionales entre Arquitectos de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos», *Revista de Obras Públicas*, III/21 (1855), pp. 241-244.
- ALZOLA, Pablo: *Las obras públicas en España: estudio histórico*, estudio preliminar de Antonio Bonet Correa, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos / Turner, 1979.
- BASSOLS COMA, Martín: *Génesis y evolución del derecho urbanístico español (1812-1956)*, Madrid, Montecorvo, 1973.
- «Los inicios del derecho urbanístico en el período del liberalismo moderado y en el Sexenio Revolucionario (1846-1876): el ensanche de la ciudad como modelo urbanístico y sistema jurídico», *Ciudad y Territorio*, XXVIII/107-108 (1996a), n.ºs especiales: *Siglo y medio de urbanismo en España*, pp. 19-51
- «El derecho urbanístico de la Restauración a la República (1876-1936): crisis de los Ensanches y las dificultades de alumbrar un nuevo modelo jurídico-urbanístico», *Ciudad y Territorio*, 107-108 (1996b), pp. 53-90.
- «La influencia de Ildefonso Cerdá en la fundamentación jurídica de la urbanización», *Ciudad y Territorio*, XXXI/119-120 (1999), pp. 189-208.
- BONET, Antonio: «Carlos María de Castro, ingeniero, arquitecto y urbanista del ensanche de Madrid», en *Plan Castro*, Madrid, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1978, p. XIX.

- BONET, Antonio, Fátima MIRANDA y Soledad LORENZO: *La polémica ingenieros-arquitectos en España: siglo XIX*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1985.
- BRANDIS, Dolores, y Rafael MAS: «Vivienda y salubridad en Madrid (1860-1936)», en *Madrid 1902-2002: tres siglos de una capital*, Madrid, CajaMadrid, 2002, pp. 201-212.
- BURGUEÑO, Jesús: «Estudi introductorí», en *El mapa com a llenguatge geogràfic: recull de textos històrics (ss. XVII-XX)*, Barcelona, Societat Catalana de Geografia / Institut d'Estudis Catalans, 2008, pp. XIII-CXXXV.
- CASTAÑÓN, Juan Carlos, Jean-Yves PUYO y Francisco QUIRÓS: «La herencia cartográfica y el avance del conocimiento geográfico en España», en Anne-Marie Villèle, Francisco Quirós y Juan Carlos Castañón: *Madrid, 1808: guerra y territorio*, Madrid, Museo Municipal, 2008, pp. 108-127.
- CERDÀ, Ildefonso: «La calle», *Revista de Obras Públicas*, 11/1 (5) (1863), pp. 57-61, y 11/1 (6), pp. 65-70.
- *Teoría general de la urbanización y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche de Barcelona* (1867), Madrid, Instituto de Estudios Fiscales, 1968-1971, 3 vols.
- *Teoría de la construcción de ciudades aplicada al proyecto de ensanche y reforma de Barcelona* (1859), Madrid / Barcelona, Ministerio de las Administraciones Públicas / Ajuntament de Barcelona, 1991a.
- *Teoría de la viabilidad urbana. Reforma de la de Madrid* (1861), Madrid, Ministerio de Administraciones Públicas / Ayuntamiento de Madrid, 1991b.
- «Despojo. Reclamación contra el despojo que por la Ley de Ensanches se ha hecho de mi plan económico. Cuaderno de notas» (1869-1875), en *Teoría de la viabilidad urbana: Cerdà y Madrid*, Madrid, 1991c, pp. 309-319.
- «Consideraciones generales que se han tenido presentes para proceder al levantamiento del plano y sistema que se ha seguido en las operaciones de campo y en los trabajos de gabinete» (1855), en *El mapa com a llenguatge geogràfic...*, 2008, pp. 131-134.
- CHOAY, Françoise: *L'urbanisme: utopies et réalités*, París, Seuil, 1961.
- *La règle et la méthode: sur la théorie de l'architecture et de l'urbanisme*, París, Seuil, 1980.
- CORBOZ, André: «L'urbanisme du XX^{ème} siècle: esquisse d'un profil» en *Le territoire comme palimpseste et autres essais*, Besançon, Éditions de l'Imprimeur, 2001, pp. 209-229.
- COUDROY DE LILLE, Laurent: «Los ensanches españoles vistos desde fuera: aspectos ideológicos de su urbanismo», *Ciudad y Territorio*, 119-120 (1999), pp. 119-235.
- El mapa com a llenguatge geogràfic. Recull de texts històrics (ss. XVII-XX) [Diago; Borsano, Aparici, Canellas, Massanés, Bertran, Cerdà, Papell, Ferrer, Villa]*, edició a cura de Jesús Burgueño, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans / Societat Catalana de Geografia, 2008.

- ESTAPÉ, Fabián: «Vida y obra de Ildefonso Cerdá. Bibliografía y Anexo documental», vol. III de Ildefonso CERDÁ (1968-1971).
- «En torno a la ideología de Ildefonso Cerdà», *Ciudad y Territorio*, 119-120 (1999), pp. 13-20.
- FERNÁNDEZ DE LOS RÍOS, Ángel: *El futuro Madrid: paseos mentales por la capital de España, tal cual es, tal cual ha de dejarla transformada la revolución*, Madrid, s. n., 1861 (ed. facs., Barcelona, Los Libros de la Frontera, 1989).
- *Guía de Madrid: manual del madrileño y del forastero*, Madrid, s. n., 1885 (ed. facs., Madrid, Monterrey, 1982).
- GARCÍA-BELLIDO, Javier (dir.): *Ciudad y Territorio*, 119-120 (1999), n.º especial: *Cerdà y su influjo en los ensanches de las poblaciones* (reed., Madrid, Ministerio de Fomento, 2004).
- GARCÍA FARIA, Pedro: «Saneamiento de poblaciones. Disertación pronunciada por el presidente de la Sección de Ciencias Exactas y Naturales del Ateneo Barcelonés, don Pedro García Faria», *Revista de Obras Públicas*, IV/34 (9) (1886), pp. 145-150.
- GIMENO, Eva: «La gestación de concursos de Barcelona: concurso municipal de proyectos de 1859», en *Cerdà. Ciudad y territorio: una visión de futuro*, catálogo de exposición, Barcelona / Madrid, Fundació Catalana per a la Recerca / Electa España, 1994, pp. 141-154 y 155-166.
- GÓMEZ MENDOZA, Josefina: *Urbanismo e ingeniería en el siglo XIX: reforma interior de las ciudades y movilidad*, Madrid, Real Academia de Ingeniería, 2006a.
- «Arquitectos, ingenieros y urbanistas. Reforma interior urbana y movilidad», *Claves de la Razón Práctica*, 164 (julio-agosto de 2006b), pp. 14-20.
- HAUSER, Philip: *Madrid bajo el punto de vista médico-social* (1902), ed. de Carmen del Moral, Madrid, Editora Nacional, 1979.
- JUNTA CONSULTIVA DE POLICÍA URBANA: «Bases propuestas en 5 de agosto de 1853 por la [...] sobre alineación de las calles», en Manuel Calvo y Pereyra: *Arquitectura legal*, 1870, pp. 370-376.
- LE CORBUSIER: *Vers une nouvelle architecture*, París, Cres, 1923.
- MARTÍ, Víctor: «Reforma de la Puerta del Sol», *Revista de Obras Públicas* (1859), 5, pp. 53-59; 7, pp. 77-80; 8, pp. 89-91; 11, pp. 125-129; 14, pp. 164-167; 16, pp. 189-194; 18, pp. 213-215; 20, pp. 237-238.
- MAS HERNÁNDEZ, Rafael: «Las reformas interiores. Madrid 1800-1935», en *Atlas histórico de ciudades europeas: Península Ibérica*, Barcelona, Salvat / Centro de Cultura Contemporánea de Barcelona, 1994, pp. 44-45.
- MESONERO ROMANOS, Ramón de: *Trabajos no coleccionados*, Madrid, s. n., 1903.
- *Memorias de un sesentón* (1881), Madrid, Tebas, 1975.
- *Rápida ojeada sobre el estado de la capital y los medios de mejorarla* (1846), Madrid, Comunidad Autónoma de Madrid / Revista Alfoz, 1989.
- MIRANDA GONZÁLEZ, Miguel Ángel: «Pedro García Faria, ingeniero de caminos y arquitecto», *Scripta Nova*, X/221 (2006).

- NADAL, Francesc, Luis URTEAGA y J. Ignacio MURO: *El territori dels geòmetres: cartografia parcel·laria dels municipis de la província de Barcelona (1845-1895)*, Barcelona, Diputació, 2006.
- NAVASCUÉS, Pedro: «Proyectos del siglo XIX para la reforma urbana de la Puerta del Sol», *Villa de Madrid*, 25 (1968), pp. 64-81.
- *Arquitectura y arquitectos madrileños del siglo XIX*, Madrid, Instituto de Estudios de Administración Local, 1973.
- QUIRÓS, Francisco: «La Guerra de la Independencia y la renovación del conocimiento cartográfico peninsular», en Anne-Marie Villèle, Francisco Quirós y Juan Carlos Castañón: *Madrid, 1808: Guerra y Territorio*, Madrid, Museo Municipal, 2008, pp. 27-36.
- REDACCIÓN: «Observaciones sobre la Real Orden de 14 septiembre último», *Revista de Obras Públicas*, I/3 (19) (1855), pp. 217-219.
- [s. a.] «Anteproyecto para el Ensanche de Barcelona», *Revista de Obras Públicas*, IV/1 (5) (1856), pp. 57-58.
- [s. a.] *Reforma y ensanche de Barcelona: cartas de un amigo de allá a otro amigo de acá*, Barcelona, 1860, en Ildefonso Cerdá, *Teoría general de la urbanización, Reforma y ensanche de Barcelona*, estudio sobre la vida y la obra de Ildefonso Cerdá, selección del anexo documental por Fabián Estapé, Madrid, Instituto de Estudios Fiscales, 1971, t. III, pp. 511-518.
- RONCAYOLO, Marcel: «Le modèle haussmannien», en Georges Duby (dir.): *Histoire de la France urbaine*, t. IV: *La ville de l'âge industriel*, París, Seuil, 1983, pp. 78-117.
- SÁENZ RIDRUEJO, Fernando: *Los ingenieros de caminos del siglo XIX*, Madrid, Colegio de Ingenieros de Caminos, 1990.
- «Ingeniería de caminos y canales, también de puertos y faros», en M. Silva Suárez (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. v: *El Ochocientos. Profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución «Fernando el Católico» / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2007, pp. 126-184.
- SÁNCHEZ DE JUAN, Joan-Antonio: «“La destrucción creadora”: el lenguaje de la reforma urbana en tres ciudades de la Europa mediterránea a finales del siglo XIX», *Scripta Nova*, 63 (2000).
- SERRATOSA, Albert, et al.: *Semiótica de l'Eixample de Cerdà*, Barcelona, Proa, 1999.
- SOLÀ-MORALES RUBIÓ, Manuel: «Ensanche y saneamiento de las ciudades», en *Vivienda y urbanismo en España*, Madrid, Banco Hipotecario, 1986, pp. 161-178.
- SURIOL CASTELLVÍ, Josep: «Los ingenieros de caminos en la transformación urbana de las ciudades españolas a finales del siglo XIX. El caso de Barcelona», *Scripta Nova*, VI/120 (2002).

Anexo

Un álbum de dibujos de máquinas presentado en la Exposición Universal de Viena de 1873

Internacionales, nacionales o locales, universales o sectoriales, en el siglo XIX las exposiciones constituyeron escaparates en los que instituciones y empresas mostraron al mundo lo mejor de sus producciones. En ocasiones enviados por los Estados o por instituciones de muy diferente nivel, los visitantes examinaban los avances mostrados e incluso servían de altavoces a lo visto escribiendo artículos o monografías¹.

No es este momento para analizar los envíos desde las instituciones hispanas, pero valga recordar genéricamente algunas presencias incitadas desde el Ministerio de Fomento español. Por ejemplo, la Dirección General de Minas concurrió a varias exposiciones internacionales enviando bellas e interesantes muestras de minerales encontrados en el solar nacional o elementos de la importante cartografía producida. Del mismo modo, la Dirección General de Obras Públicas contribuyó con colecciones de modelos, planos y fotografías que mostraban producciones de su ramo (puentes, viaductos, estaciones de ferrocarril, puertos, faros, esclusas, túneles, abastecimientos de agua a ciudades, etc.) que llegaron a sorprender allende las fronteras². Análogamente, el Cuerpo de Ingenieros de Montes contribuyó, entre otras

¹ Son innumerables los textos al respecto. Simplemente para ilustrar este tipo de obras, considérense la *Memoria acerca de la Exposición Universal de Londres de 1862*, por Ramón de MANJARRÉS, entonces profesor de la Escuela de Ingenieros Industriales de Sevilla, y, también sobre la misma, el texto de Mariano CARRERAS Y GONZÁLEZ: *La España y la Inglaterra agrícolas en la Exposición Industrial de 1862*, Zaragoza, Impr. y Litogr. de Agustín Peiró, 1863; cambiando de exposición, escrita por un joven Joaquín COSTA, que va becado como «albañil», las *Ideas apuntadas en la Exposición Universal de 1867 para España y para Huesca*, Huesca, Impr. Arizón, 1868 (como anécdota, Costa dio la información necesaria a Mariano Catalán, mecánico oscense, para que construyera las primeras bicicletas hispanas de que se tiene noticia).

² Entre otras relaciones publicadas en la *Revista de Obras Públicas*, «Modelos, fotografías y planos presentados en la Exposición Universal de París, por la Dirección General de Obras Públicas», *ROP*, 12 (marzo de 1867), pp. 139-143.

cosas, con monografías sobre temas muy diversos relativos a especies autóctonas peninsulares³.

En este marco, el álbum que reproducimos en este anexo fue presentado por la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona⁴ a la Exposición Universal de Viena de 1873. Inédito, su interés reside tanto en su belleza como en ser un testigo de las capacidades de la industria de la construcción de motores en la Cataluña del momento, de máquinas de vapor y turbinas hidráulicas en particular.

I

LAS EXPOSICIONES INTERNACIONALES Y LA ESCUELA EN ESAS DÉCADAS

La Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona participó en diversas exposiciones internacionales. Mencionaremos únicamente algunos datos fragmentarios relativos a certámenes próximos temporalmente al que nos ocupa. De este modo, el 20-III-1876 el director de la Escuela, Ramón de Manjarrés⁵, escribía al rector de la Universidad Literaria de Barcelona para darle noticias de los objetos que esta enviaba a la Exposición Universal de Filadelfia⁶:

La Escuela a mi cargo mandó a la Exposición de Filadelfia doce proyectos de otras tantas fabricaciones desarrolladas gráficamente por los alumnos y con sus correspondientes memorias manuscritas. Un tomo de muestras de tejidos hechos por los alumnos de la clase de teoría y práctica de tejidos y un cuadro caligráfico en que constaba en resumen lo que consta en los dos impresos que remito con ligeras modificaciones poco o nada importantes en el fondo y de las cuales textualmente no conservo copia. Sin embargo la Escuela se propone ampliar aquellos datos por medio de un cuadro topográfico más completo si como espero encuentro medio de remitirlo, para ilustración de la comisión española en Filadelfia.

³ Entre los libros redactados por miembros de este Cuerpo, en la Exposición Universal de Barcelona de 1888 se presentó *Cría, cultivo y aprovechamiento del pino piñonero*, Madrid, Impr. de Moreno y Rojas, 1888, debido al ingeniero jefe Felipe ROMERO Y GILSANZ.

⁴ Sobre la génesis y evolución de esta institución a lo largo del siglo XIX, véase, en esta misma colección, Guillermo LUSA MONFORTE: «La Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona», en Manuel SILVA SUÁREZ (ed.): *Técnica e ingeniería en España*, vol. V: *El Ochocientos: profesiones e instituciones civiles*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución Fernando el Católico / Prentas Universitarias de Zaragoza, 2007, pp. 351-394.

⁵ Acerca de Manjarrés véase un apunte biográfico en Manuel SILVA SUÁREZ (ed.), *op. cit.*, p. 675. Una biografía más amplia, en Francesc BARCA SALOM y Guillermo LUSA MONFORTE: «Ramon de Manjarrés (1827-1918). La química agrícola i la professionalització de l'enginyer industrial», en Josep M. CAMARASA Y Antoni ROCA (dirs.): *Ciència i tècnica als Països Catalans: una aproximació biogràfica*, Barcelona, Fundació Catalana per a la Recerca, 1995, vol. 1, pp. 383-423.

⁶ Guillermo LUSA MONFORTE: «El traslado de la Escuela de Ingenieros al edificio de la nueva Universidad (1873)», *Documentos de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona*, 8 (1998), pp. 85 y 129.

También de esta época es una carta enviada por Manjarrés al Director General de Instrucción Pública el 14-I-1878, con motivo de haberle solicitado que examinara en el mes de mayo a un grupo de quince estudiantes de la Escuela para así poder visitar acto seguido la Exposición de París. En su larga misiva⁷ Manjarrés aprovechaba para hacer historia de las disposiciones que se habían adoptado en anteriores exposiciones, que favorecían la asistencia de los alumnos. De paso nos confirma que estudiantes de las Escuelas Industriales habían acudido a las exposiciones de 1855 (París) y de 1862 (Londres):

En la de 1855 el que firma este informe estudiaba en el Real Instituto Industrial de Madrid cuando la Comisión Provincial de la Diputación de Barcelona le nombraron [sic] de la Comisión de operarios científicos que debían pasar a la capital de Francia con el objeto de encargarse de la instalación y del estudio especial del ramo de tintes y estampados. Dichas Corporaciones pidieron al Gobierno que permitiese marchar antes de concluir el curso. El Gobierno accedió a que dejase las clases, cuya asistencia era entonces obligatoria, examinándose a su regreso en Setiembre. Lo mismo se hizo en 1862, en que el Gobierno dispuso que fuese un alumno de cada una de las Escuelas Industriales entonces existentes; recordando que el que fue de Sevilla marchó antes de concluirse el curso, sin que se le tuviesen en cuenta las faltas, con la obligación de examinarse en Setiembre.

Finalizaba su misiva solicitando que los alumnos que pensaban acudir a la exposición fuesen examinados en primer lugar, y que se les permitiese aplazar algunos ejercicios hasta su regreso. La Dirección General aceptó sus propuestas, facilitándoles de este modo el viaje.

Centrados en el álbum que nos ocupa, el 8-IV-1873 Ramón de Manjarrés envió al rector de la Universidad Literaria de Barcelona la relación de los objetos que dicha universidad iba a mandar a la Exposición vienesa. He aquí el párrafo inicial y el fragmento que se refiere específicamente a la contribución de la Escuela⁸:

[*Margen*] Exposición universal de Viena de 1873. Se da cuenta de los objetos y demás remitidos por parte de Barcelona.

Sr. Rector de la Universidad Literaria

Barcelona, 8 de Abril de 1873

Para que V. S. pueda, si lo considera oportuno, manifestar a la superioridad la manera como se ha correspondido a la circular de la Dirección general de Instrucción pública, fecha 24 Noviembre pasado, en que se invitaba a todos los centros de enseñanza para que concurrieran a la Exposición universal de Viena con todas aquellas obras, objetos y documentos que pudieran dar idea del estado de la instrucción pública y del estado de cultura del país, tengo el gusto de participarle, como presidente de la sección de industria que se hizo cargo del grupo relativo a la Educación, Instrucción y Cultura del

⁷ *Ibid.*, pp. 86 y 130-131.

⁸ Archivo de la ETSEIB, *Copiador de oficios pasados al Gobierno y al I. S. Rector de la Universidad. Salida. Tomo 2.º (10 octubre 1859 – 2 marzo 1887)*, f. 161r-v.

Programa de dicha Exposición, que se han entregado las obras y objetos siguientes a la Comisión central que ha venido a Barcelona con tal objeto:

[...]

Escuela de Ingenieros Industriales

Álbum que contiene el programa de asignaturas de la Escuela, y una colección de láminas que representan los tipos de motores adoptados por las principales casas constructoras de Cataluña, copiados del natural por los alumnos de la clase de proyectos.- Lithología meteórica, por D. Joaquín Balcells, un folleto.- Calentamiento y ventilación de edificios, por D. Francisco de Paula Rojas, 1 tomo, obra premiada en concurso público por la Real Academia de Ciencias de Madrid.- Memoria acerca de la Exposición universal de Londres de 1862, por D. Ramón Manjarrés, 1 tomo.- Lecciones de química industrial inorgánica, por el mismo, 1 tomo.- Memoria sobre tintes y estampados de la Exposición universal de Londres de 1862, por el mismo.- Memoria sobre el mejoramiento de nuestros aceytes, por el mismo.- Memoria sobre la influencia de los fosfatos féreos en la agricultura, por el mismo, premiada en concurso público por la Real Academia de ciencias de Madrid.- De los abonos para las tierras, por D. Luis Justo y Villanueva, 1 tomo.- Dos anuarios del laboratorio del Instituto de San Isidro, por el mismo.- Memoria sobre el aparato Carré, por D. Dámaso Calvet.- Curso de dibujo industrial, por D. Joaquín Mata, texto y atlas.

[...]

D.º &.º El Dir. R. Manjarrés

II

EL PROFESOR Y LOS ALUMNOS QUE ELABORARON EL ÁLBUM

Tal como puede leerse en las primeras páginas del álbum, en 1873 estaba vigente el plan de estudios de 1857 (recuperado en 1868), que consistía en cursar y aprobar durante tres años en la Facultad de Ciencias diez asignaturas que constituían la formación científica básica. Después de esto, los alumnos entraban en la Escuela para seguir los estudios de aplicación (los tecnológicos propios de la carrera), que duraban tres años.

Las láminas fueron realizadas en el marco de las enseñanzas de Dibujo de Proyectos, que se extendían a lo largo de los tres cursos de la carrera. El catedrático responsable de estas materias era Dámaso Calvet de Budallès (1836-1891)⁹. Nacido en Figueres (Girona), tras estudiar entre 1852 y 1855 en la Escuela Industrial barcelonesa

⁹ También se le conoce como *Damas* o *Damás Calvet*. Fue un reconocido poeta y autor teatral en lengua catalana que obtuvo diversos galardones en los Juegos Florales de Barcelona. Fueron muy conocidos y celebrados los versos que dedicó a Monturiol y a su aventura submarina. Véase Carles PUIG-PLÀ: «Damas Calvet de Budallès (1836-1891). L'enginyer-poeta», en Antoni ROCA ROSELL (COORD.): *Narcís Monturiol: una veu entre utopia i realitat*, Barcelona / Figueres, Sociedad Estatal de Conmemoraciones Culturales / Museu Empordà, 2009, pp. 102-113.



A.1. «Sala de Bibujo [sic] industrial y de proyectos, capaz para cien alumnos», del Álbum de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona, 1878 (v. la ilustración 6.4 del vol. v de esta misma colección; fot.: Juan Martí; adapt: MSS).

obtuvo el título de profesor industrial. Durante esos años trabajó como dibujante en La España Industrial; en 1858-1859 cursó estudios en el Real Instituto Industrial de Madrid y obtuvo el título de ingeniero químico. Profesor sustituto de la cátedra de Matemáticas Aplicadas a la Industria en el Instituto de Valencia (1860), en 1861 el Gobierno le concedió una pensión para estudiar en el extranjero durante dos años los avances de las industrias químicas. Apoyó a su paisano Monturiol en el proyecto del icítineo colaborando en la determinación del proceso químico que permitía generar calor para la máquina de vapor, así como en el procedimiento para conseguir una atmósfera respirable dentro del submarino. En agosto de 1866 fue nombrado profesor interino de Dibujo Industrial y Proyectos en la entonces Escuela Superior Industrial de Barcelona.

En cuanto a quienes dibujaron las láminas, en la segunda página del álbum se nos dice que «fue ejecutado por mano de alumnos que asisten a distintos cursos y que están por consiguiente a distinto grado de conocimiento y de práctica en el Dibujo de Proyectos». Todas están firmadas por el profesor, pero solo aparecen dos firmas de alumnos: la de Narcís Xifra, que dibujó la «Turbina sistema Moreno» de la empresa Talleres

Porredon, Claret y C.^a de Gerona, y la de Juan Barrau, que es autor de la «Turbina sistema Fontaine perfeccionado» de Planas, Junoy y C.^a, también de Gerona. Del primero sabemos bastantes cosas¹⁰; el segundo debe de ser Juan Barrau Buñol, graduado en 1877, hijo de Antonio Barrau Esplugas, que fue agente de La España Industrial en Manchester¹¹ y socio fundador en 1857 de Planas, Junoy, Barné y C.^a, la principal empresa que construyó en España las turbinas Fontaine. Ingeniero mecánico, Juan Barrau Buñol participó en 1883 en la creación de Planas, Flaquer y C.^a, empresa sucesora de la anterior¹². También se implicó en aventuras ferroviarias y en 1882 lo encontramos como accionista de la compañía del Ferrocarril Transversal del Principado de Cataluña.

III

EL ÁLBUM

El álbum comprende doce dibujos que representan máquinas y uno que describe un proyecto de riego, todos a doble página y color. Van precedidos por dos dobles páginas con sendos textos calografiados sobre la *Preparación e ingreso* en la Escuela, y la *Clase de proyectos* (ambos se transcriben como anexo). Según se afirma en el escrito antes citado de Ramón de Manjarrés, se representan «Los tipos de motores adoptados por las principales casas constructoras de Cataluña, copiados del natural por los alumnos de la clase de proyectos».

III.1. «Los tipos de motores adoptados por las principales casas constructoras de Cataluña»

Anotemos que las empresas y máquinas dibujadas son las siguientes:

- Talleres de Amador Pfeiffer, Barcelona: *Malacate aplicado a una noria* (LÁM. 1).
- Talleres de Pedro Colomé, Barcelona: *Molino de alas verticales* (LÁM. 2); *Máquina de vapor de un cilindro y condensación-expansión variable por el regulador* (8 CV, 5 atm) (LÁM. 6).

¹⁰ Graduado en 1871, como director técnico de la empresa de Francisco Dalmau (1874) y de la Sociedad Española de Electricidad (1881), Narcís Xifra fue uno de los primeros ingenieros que participaron activamente en la electrificación de la industria española. Véase un apunte biográfico de tan notable ingeniero en Manuel SILVA SUÁREZ (ed.), *op. cit.*, p. 717; también, Jordi MALUQUER DE MOTES: «Dalmau i Xifra, els pioners de la segona Revolució Industrial», en ídem (dir.): *Tècnics i tecnologia en el desenvolupament de la Catalunya contemporània*, Barcelona, Consell de Col·legis d'Enginyers Tècnics Industrials de Catalunya / Enciclopèdia Catalana, 2000, pp. 269-275.

¹¹ M.^a Luisa GUTIÉRREZ: *La España Industrial, 1847-1853: un model d'innovació tecnològica*, Barcelona, Enginyers Industrials de Catalunya, 1997.

¹² Acerca de la empresa y la familia Planas consúltese Jordi NADAL: «Los Planas, constructores de turbinas y material eléctrico, 1858-1949», *Revista de Historia Industrial*, 1 (1992), pp. 63-93.

- Talleres de Valls Hermanos, Barcelona: *Máquina de dos cilindros, sistema ALEXANDER* (LÁM. 3).
- Talleres del Nuevo Vulcano, Barcelona: [*Máquina de vapor de balancín superior*] (LÁM. 4); *Detalles de los cilindros y camisas de la máquina de balancín. Sistema WHITE* (LÁM. 5).
- [La Maquinista Terrestre y Marítima, Barcelona]: *Máquina de vapor de dos cilindros* (LÁM. 7).
- Talleres de Alexander Hermanos: *Máquina de vapor de dos cilindros* (verticales) (LÁM. 8); *Máquina marina, sistema ALEXANDER* (LÁM. 9).
- Planas, Junoy y C.^a, Gerona: *Turbina sistema FONTAINE perfeccionado* (LÁM. 10), firmada por Juan Barrau; *Proyecto de riego* (LÁM. 11); *Turbina sistema FOURNEYRON perfeccionada por FONTAINE* (LÁM. 12).
- Talleres Porrodon [sic], Claret y C.^a, Gerona: *Turbina sistema MORENO* (LÁM. 13), firmada por Narcís Xifra.

Desde el punto de vista de las empresas en que se gestan los proyectos estudiantiles se identifican: (1) dos de los tres grandes constructores de máquinas de vapor de Barcelona: Nuevo Vulcano y Alexander Hermanos; por ser quizás la empresa que contrataba un mayor número de ingenieros industriales para su oficina técnica y talleres, resulta extraño observar que La Maquinista Terrestre y Marítima nunca aparece explícitamente como empresa donde se realice una práctica¹³; (2) dos de los más importantes constructores de máquinas no motoras, ambos de Barcelona: Amador Pfeiffer para las tareas agrícolas y Valls Hermanos para la industria agroalimentaria; (3) la gran especialista nacional en turbinas hidráulicas, la gerundense Planas, Junoy y C.^a.¹⁴ Además, aparecen los talleres de Pedro Colomé, de Barcelona, y los de Porrodon, Claret y C.^a, de Gerona. El primero se ubicaba en la barcelonesa calle Amalia, nº 10, cerca de los talleres de Valls Hermanos. Del segundo puede decirse que, tras ampliar el taller de construcción, se anuncia en 1872¹⁵ como «LA CATALANA. Fundación

¹³ La máquina de la lámina 7 sí lo hace, pero ello no asegura que la práctica se hiciera en la empresa (véase el caso de la lámina 3).

¹⁴ Este conjunto de seis empresas pertenece al núcleo del sector de la construcción de máquinas hispano durante el siglo XIX. Han concitado una amplia bibliografía dentro de la historia industrial. Como referencia común, de tono divulgativo y algo apasionado en su redacción, en la que el eje conductor lo constituyen los empresarios, se puede acudir a *Fàbriques i empresaris: els protagonistes de la Revolució Industrial a Catalunya*, vol I: *Metallúrgics i químics*, de Francesc CABANA (Barcelona, Enciclopèdia Catalana, 1992). En particular, «Els Tallers Nuevo Vulcano de la Societat Navegació e Industria», pp. 46-57; «Alexander Germans», pp. 58-61; «La Maquinista Terrestre i Marítima», pp. 62-87; «Amador Pfeiffer», pp. 104-107; «Valls Germans, màquines per a la indústria alimentària», pp. 115-118; «Planas i Flaquer de Girona, turbines, màquines per a la indústria papelera i construccions elèctriques», pp. 119-124.

¹⁵ *La Provincia: Periódico Republicano Federal*, Gerona, año I, n.º 34, 3 de octubre de 1872, p. 8.

de Hierro y Taller de Construcción de Máquinas de Porredon, Claret y Compañía» (c/ Ginesta, 6, Gerona), indicando que el señor Moreno es el director del taller y socio comanditario. Entre sus productos, turbinas hidráulicas, así como máquinas de vapor fijas y semifijas, motores de viento, bombas para elevar agua, máquinas de aserrar, prensas, trituradoras, etc. No obstante, en 1878 Juan Porredon y José Claret pasan a formar parte del accionariado de la fundición gerundense rival, controlada por la familia Planas, que pasa a denominarse *Planas y Compañía*¹⁶.

Llama la atención el que la máquina reflejada de Valls Hermanos sea una de vapor de Alexander Hermanos, no una de su propia especialidad (prensas de aceite o de vino; molinos para harina, café, chocolate o almendras; mezcladoras, amasadoras, batidoras, tostadoras...). No obstante, años más tarde, en la Exposición Internacional de Barcelona (1888), la empresa exhibirá máquinas de vapor de media presión y dos cilindros verticales, con caldera separada, también verticales¹⁷, constitutivamente próximas a modelos paradigmáticos de Alexander Hermanos.

Siete de las trece láminas conciernen a máquinas de vapor: 3, 8 y 9 (AH)¹⁸, 4 y 5 (NV)¹⁹, 7 (MTM)²⁰ y 6 (PC). Solo la 6 (PC) es de un cilindro y condensador. El resto son de dos cilindros (uno de alta y otro de baja presión; unas horizontales, otras verticales).

Las láminas 10, 12 y 13 ilustran turbinas hidráulicas (de eje vertical). Como indica Gumersindo DE VICUÑA, «el constructor español Sr. Planas (Gerona) se dedica casi exclusivamente a fabricar turbinas Fontaine. El Sr. Moreno, constructor de la misma población, es inventor de una turbina que lleva su nombre, y que tiene alguna analogía con la de Fontaine»²¹. Las dos primeras son de Planas, Junoy y C.^a: *Turbina siste-*

¹⁶ Josep CLARA («La Industria Moderna a la Girona del siglo XIX: la Fonería Planas», *Revista de Girona*, 80, 1977, p. 219) indica el funcionamiento de la empresa hasta 1878. Al incorporarse en ese año Porredon y Claret en la empresa de los Planas, cabe pensar en una suerte de integración, pero no disponemos de más información al respecto. En cualquier caso, tanto Josep CLARA como Jordi NADAL (*op. cit.*, 1992, p. 64) denominan *La Palma* a la empresa de Porredon y Claret, y no *La Catalana*, como ellos se anuncian.

¹⁷ Francesc CABANA, 1992, *op. cit.*, p. 116.

¹⁸ Modelos policilíndricos tándem y verticales próximos a los de las láminas 3 y 8 se muestran en las figs. 12.7.1 y 12.7.2, respectivamente.

¹⁹ La patente de Joseph White se comenta en la sección III.2.1 del capítulo 12 de este volumen. Una fotografía de la Exposición catalana de 1877 (fig. 12.6) muestra una máquina de balancín superior de Nuevo Vulcano, muy similar estructuralmente a la aquí considerada.

²⁰ Aparentemente análoga la máquina de la lámina 7 no se corresponde con ninguna de las expuestas en la fig. 12.7, todas del extenso catálogo de La Maquinista Terrestre y Marítima. No se observan indicios para pensar que fuese del sistema Corliss, que en 1872 empezó a fabricar la empresa de la Barceloneta.

²¹ *Motores empleados en la industria*, vol. II: *Motores hidráulicos*, Madrid, Impr. de Manuel Tello, 1872, p. 35.

ma FONTAINE perfeccionado (10) y Turbina sistema FOURNEYRON perfeccionada por FONTAINE (12). La de la lámina 13 es una Turbina de sistema MORENO y corresponde a privilegios de invención hispanos.

Juan Moreno y Villaret fue «un ebanista y carpintero de San Clemente (Cuenca)»²², como se ha mencionado, después director del taller de construcción de máquinas y socio comanditario de Porredon, Claret y C.^a. Registró tres privilegios (1862, 1864 y 1867) y tres patentes (dos de 1878, y 1879). Aquí interesan principalmente los privilegios (OEPM):

- 2.894. *Motor hidráulico de los conocidos como turbinas cuyo sistema difiere de los de su clase* (solicitud 03-VI-1864, por diez años).
- 4.330. *Perfeccionamientos en las turbinas hidráulicas concéntricas del sistema Moreno*, (solicitud 14-III-1867, por diez años).

Residente en 1867 en Amer (Gerona), Moreno pide este segundo privilegio por unas mejoras introducidas en el suyo previo de referencia 2.894. Patricio SÁIZ GONZÁLEZ (1999, p. 204) resume el contenido y las circunstancias que rodean la certificación de su puesta en marcha (las reproducimos por reflejar dificultades habidas en la gestión de la innovación técnica en el Ochocientos hispano):

consisten en un sistema de recepción del agua por el costado del rodete vertiéndola por el plato o disco inferior, lo que permite perder menos fuerza. A pesar de que se declara en práctica en octubre de 1869 hay que destacar que el solicitante envía varias instancias pidiendo la inspección, explicando que los retrasos son *por motivo de la mucha ocupación que a la primera autoridad civil de la provincia ocasiona el Gobierno de la Nación, en el estado anómalo por el que ha atravesado la Nación Española*. Por fin se acredita en el molino harinero de Francisco Salvatella, en San Pons de Fontajan [sic], distrito municipal de San Gregorio (Gerona). Allí se comprueba que en una turbina, que sirve de motor a dos muelas y a una bomba para riego de tierras, están instaladas las perfecciones. La turbina ha sido construida por cuenta del inventor, Sr. Moreno, en el taller de fundición que tienen establecido en Gerona los Srs. Porredon y Coma [sic].

Pudiera ser que Narcís Xifra, graduado en 1871, hiciera su dibujo en el tiempo en que se certificó la puesta en marcha del privilegio 4.330. Por otro lado, resulta curioso observar cómo años después «Valls Hermanos, Ingenieros constructores»²³ publicita entre sus motores no solo máquinas de vapor y de gas o de petróleo, sino también «Turbinas sistema Moreno perfeccionadas»²⁴.

²² Patricio SÁIZ GONZÁLEZ: *Inventión, patentes e innovación en la España contemporánea*, Madrid, Oficina Española de Patentes y Marcas, 1999, pp. 203-204.

²³ A Rafael Valls, fundador de la empresa (1854), le suceden sus hijos Agustín y Francisco (ingenieros industriales de las promociones de 1880 y 1888, respectivamente), que aumentan significativamente el catálogo de productos de la casa.

²⁴ Por ejemplo, véanse los anuncios en *Revista Tecnológico-Industrial*, septiembre de 1896, e *Industria e Invenciones*, 9-I-1897 o 20-VII-1903.

Las láminas 1 y 11 corresponden a instalaciones para elevar agua, básicamente para regar. La primera ilustra un tipo de producto paradigmático del catálogo de Amador Pfeiffer (véase, por ejemplo, la ilustración del lema *noria* en el *Diccionario de arquitectura e ingeniería* de Pelayo CLAIRAC, vol. V)²⁵. La número 11 es un sistema compuesto de una rueda hidráulica (de eje horizontal) de paletas casi rectas y fijas, de acción por debajo, que mueve la noria. La 2 es de un tipo de molino del que existen precedentes hasta en los teatros de máquinas renacentistas²⁶.

III.2. «Copiados del natural por los alumnos de la clase de proyectos»

Desde la perspectiva del dibujo, este bello álbum produce cierta «sorpresa» por las técnicas empleadas en su realización, allá en los comienzos de la década de 1870. Para analizar su *estilo gráfico*, en parte determinado por los objetivos perseguidos, consideraremos²⁷

- los sistemas de representación —de proyección geométrica— empleados, lo que permite la definición del «esqueleto» o «armazón» del dibujo;
- las variables gráficas (líneas, figuras, luces y sombras, texturas, colores), a veces de gran importancia a la hora de transmitir con eficacia la idea representada;
- la inclusión de lenguajes no estrictamente gráficos (rótulos y leyendas, escalas...).

En lo concerniente al sistema de representación, no se observa ningún dibujo en perspectiva cónica, en ninguna de sus múltiples variantes; tampoco existen perspectivas axonométricas (trimétrica, simétrica o isométrica). En realidad, todos los dibujos son vistas ortogonales, en las que se utiliza el sistema diédrico, generalmente el método del primer diedro. Esto es coherente con la idea de dibujo técnico, donde ha de primar el rigor descriptivo-dimensional frente a la impresión; cuando las vistas corresponden a secciones se valoran nítidamente las superficies seccionadas. Salvo en dos casos, los planos tienen una escala explícita para definir dimensiones, lo que se lleva a cabo mediante expresión de la relación entre las unidades del dibujo y las de la rea-

²⁵ Se dice que: «en los talleres de la casa Pfeiffer, se construyen norias bastante perfeccionadas, y sin embargo de poco coste y fácil reparación (fig. 1434)». El fascículo del *Diccionario* debió de salir en Madrid en 1889, pero por el fallecimiento del autor el conjunto del volumen no se terminó hasta 1908, cuando fue impreso en Barcelona.

²⁶ Aunque de formas curvas, ya en el primer —y único traducido al español— teatro de máquinas (Jacques BESSON: *Teatro de los instrumentos y figuras matemáticas y mecánicas*, Lyon, 1602) se presenta un molino de eje vertical.

²⁷ Véase al respecto, para el ya lejano Renacimiento, Manuel SILVA SUÁREZ: «El lenguaje gráfico: inflexión y pervivencias», en Manuel SILVA SUÁREZ (ed.), *Técnica e ingeniería en España*, vol. I: *El Renacimiento: de la técnica imperial y la popular*, Zaragoza, Real Academia de Ingeniería / Institución Fernando el Católico / Prensas Universitarias de Zaragoza, 2008, pp. 243-310.

lidad, pero no son planos acotados. En cualquier caso, rara vez se proporciona información suficiente para definir una máquina (por ejemplo, la lámina número 4 es solo un alzado). Aunque parece improbable, como se trata de dibujos seleccionados no sabemos si hubo otros complementarios para las definiciones que no se incorporaron al álbum.

Si el dibujo genuinamente técnico de la época abstraía los matices y aclaraciones visuales aportados por variables gráficas como el color o las sombras, en estos ejercicios sí están presentes²⁸. Aquí reside en parte una impronta algo «romántica» que se puede atribuir a esta colección: el color no es en estos ejercicios un mero código visual (hierro dulce-azul, hierro fundido-gris, bronce-amarillo, etc., como se muestra en la fig. 4.15), sino un medio de diferenciación implícita y de expresión estética. Incluso se emplea representación «realista», no simbólica y polícroma, de materiales como la madera.

En el álbum se usan con frecuencia convenios gráficos como las vistas interrumpidas. Por otro lado, las sombras no son resultado de luces, sino artificios que pretenden ayudar al lector a reconstruir la volumetría del ingenio representado. Obviamente, técnicas como el *sfumato* no tienen lugar en este ámbito. Además de la declaración de las escalas, el recurso a lenguajes no estrictamente gráficos es muy reducido, pues se limita a indicaciones generales como la potencia y la presión a la que trabaja una máquina de vapor, o las condiciones y la eficiencia de la instalación para riegos.

Claramente estos dibujos conservan tintes de una representación más acorde con el cambio previo de centuria²⁹, aunque también hay diferencias como una mayor contención, en algún caso (casi) ausencia, en el empleo de variables como colores y sombras. La técnica de dibujo utilizada es la del lavado de planos³⁰, fundamentada en la utilización conjunta del blanco del papel y la transparencia de las capas de color³¹. Ello permite crear el juego de luces y sombras mediante el empleo de colorantes y pigmentos de gran transparencia —tinta china, sepia, carmín o gutagamba— que, una vez ligados con goma arábiga y disueltos en mayor o menor cantidad de agua, dan lugar a tonos de distinto grado de saturación.

La intención formativa con estos ejercicios no era enseñar a producir planos de taller, sino ejercitar al alumnado en una serie de recursos gráficos en los que la inten-

²⁸ Por ejemplo, se ejercita el sombreado al tiralíneas, eventualmente sobre una capa uniforme de color (véase la transcripción sobre la «Clase de Proyectos»).

²⁹ Sobre el dibujo de máquinas en este período, véase Patricia ZULUETA: *Los ingenios y las máquinas: representación gráfica en el período ilustrado en España*, Valladolid, Universidad / Colegio Oficial de Arquitectos de Castilla y León Este – Demarcación de Valladolid, 2007.

³⁰ *Ibíd.*, pp. 149-161.

³¹ En el propio álbum se aclara que «los alumnos para ser admitidos [a la clase de Proyectos] deben demostrar que poseen conocimientos de [...] lavado a tinta china de los cuatro órdenes de Arquitectura».

ción artística no se puede considerar ajena. Se puede decir que se trata de un «cuaderno académico», enmarcado en actividades más orientadas al análisis de las formas —«croquis» en el tajo, seguido de «puesta en limpio» en la oficina— y a la enseñanza de elementos de composición de máquinas que al proyecto propiamente dicho. Contrasta la relativa tecnicidad de lo representado frente a la propia técnica del dibujo.

La relativa «sorpresa» mencionada se debe a que, en esos tiempos, relegando la figuración, la representación de máquinas había alcanzado un importante grado de abstracción: la racionalización espacial y la codificación de aspectos formales iban imponiendo sus leyes³². La presencia explícita del criterio «buen efecto del Dibujo» (texto sobre la «Clase de Proyectos») nos habla de ambición estética, más allá de la meramente técnica. Por otro lado, «copiados del natural» es expresión que recuerda los ejercicios en las academias de Bellas Artes, costumbre bien arraigada en la formación técnica dieciochesca. En su escrito, Manjarrés desvela también el envío del «*Curso de dibujo industrial*, por D. Joaquín Mata, texto y atlas»³³. Ello termina de evidenciar una formación con dimensiones artísticas (que combinaba el «dibujo a pulso», el lavado y el «dibujo con instrumentos») en la Escuela barcelonesa. Se complementaba con los prerrequisitos para ingresar, en particular los «conocimientos de dibujo lineal [y] geometría descriptiva».

Guillermo Lusa Monforte, Universidad Politécnica de Cataluña
Manuel Silva Suárez, Universidad de Zaragoza

³² Véase, en este mismo volumen, el capítulo 4, Patricia ZULUETA PÉREZ: «El dibujo de máquinas: sistematización de un lenguaje gráfico».

³³ JOAQUÍN MATA Y COMPTE: *Curso de dibujo industrial graduado y progresivo, o sean lecciones dadas en la clase de dibujo geométrico y de imitación de la Escuela Industrial Barcelonesa*, Barcelona, Impr. del Porvenir, 1860.

TRANSCRIPCIONES

PREPARACIÓN E INGRESO

Constituye la preparación para la carrera de Ingeniero Industrial el estudio de las materias siguientes.

1º Complemento del Álgebra y Geometría. 2º Trigonometrías rectilínea y esférica. 3º Geometría analítica de dos y tres dimensiones. 4º Cálculos diferencial e integral de diferencias y variaciones. 5º Mecánica racional. 6º Geometría descriptiva. 7º Física experimental. 8º Química general. 9º Historia natural. 10º Francés y Dibujo hasta copiar los órdenes de arquitectura.

Para el ingreso en la Escuela no se fija edad determinada y sólo se exige que acrediten mediante examen los conocimientos indicados; cuyo examen tiene lugar en la misma Escuela en setiembre de cada año.

Se abonan sin examen los estudios probados en la Facultad de Ciencias.

ESTUDIOS EN LA ESCUELA

Habiendo ya ingresado un joven en la Escuela empieza sus estudios de aplicación y puede dedicarse a la especialidad de Ingeniero mecánico o Ingeniero químico; pudiendo ponerse en disposición de optar a uno de estos títulos en el término de tres años.

INGENIEROS MECÁNICOS		INGENIEROS QUÍMICOS	
Años	Asignaturas	Años	Asignaturas
1º	Estereotomía y trabajos gráficos	1º	Estereotomía y trabajos gráficos
1º	Mecánica industrial	1º	Física industrial. 1º curso
1º	Física industrial. 1º curso (aplicaciones del calórico y combustibles)	1º	Análisis químico
1º	Dibujo y proyectos	1º	Dibujo y proyectos
		1º	Prácticas de laboratorio
2º	Construcciones industriales	2º	Mecánica industrial
2º	Física industrial. 2º curso (aplicaciones de la electricidad y de la luz)	2º	Física industrial. 2º curso
2º	Construcción de máquinas (1º curso)	2º	Química industrial inorgánica
2º	Proyectos	2º	Proyectos
2º	Prácticas de taller	2º	Prácticas de laboratorio
3º	Construcción de máquinas (2º curso): máquinas de vapor	3º	Construcciones industriales
3º	Tecnología, artes mecánicas e industrias varias	3º	Química industrial orgánica
3º	Nociones de economía política y legislación industrial	3º	Tintorería y artes cerámicas
3º	Proyectos	3º	Economía y legislación industrial
3º	Prácticas de taller	3º	Proyectos

La Escuela tiene además establecido un curso preparatorio de dibujo especial para la carrera.

Aunque no es absolutamente indispensable seguir este orden, pues las disposiciones vigentes dejan al alumno en libertad de estudiar como mejor le parezca, se aconseja este plan como modelo de la mejor manera de seguir una u otra de estas especialidades. Sólo se exige por las

mismas disposiciones que los cursos marcados como 1º y 2º deben seguirse en orden correlativo: la Estereotomía debe preceder a las Construcciones industriales y a los cursos de Máquinas; el Análisis químico debe preceder a las Químicas aplicadas; y en estas, el estudio de la inorgánica debe preceder al de la orgánica. Entiéndase que con arreglo a la libertad de enseñanza, estas prescripciones sólo se aplican en cuanto al orden de aprobación de cursos, y por lo tanto cualquiera puede en calidad de alumno libre matricularse en las cátedras de la Escuela, si bien el examen no será válido para la carrera sino [sic] se ha hecho posteriormente al examen de ingreso y en el orden que acaba de marcarse para las asignaturas de la misma.

(Sigue la relación del personal de la Escuela)

CLASE DE PROYECTOS

Todos los alumnos que siguen la carrera de ingenieros industriales están obligados a ejecutar en dicha clase los proyectos que se le señalan para cada una de las especialidades, los profesores respectivos.

Los alumnos para ser admitidos deben demostrar que poseen conocimientos de dibujo lineal, geometría descriptiva y lavado a tinta china de los cuatro órdenes de Arquitectura.

En el primer año se ejercitan en el delineado de curvas especiales con sus aplicaciones al trazado de ruedas dentadas, tornillos, excéntricos [sic], balancines & estudio de órganos de máquinas y detalles de la construcción.

Los modelos y aparatos existentes en el Museo de la Escuela, y peculiares de las clases de aplicación son copiados por dichos alumnos, tomando primero el croquis, y poniéndolos en limpio en la Clase de Proyectos.

Pasado el primer año, los alumnos copian también aparatos en mayor escala, máquinas completas, sistemas de fabricación y edificios industriales en sus visitas a los establecimientos en compañía de los Sres. Profesores.

La parte material comprende:

- 1º Delineado con precisión de aparatos en pequeña escala y con minuciosos detalles.
- 2º Lavado á la tinta china por medio del desvanecido.
- 3º Lavado á la tinta china por medio de capas.
- 4º Sombreado al tiralíneas y á la pluma.
- 5º Aplicaciones de los colores convencionales sobre los lavados con una capa uniforme de color.
- 6º Aplicación del sombreado al tiralíneas sobre una capa uniforme de color.
- 7º Lavado con aguadas cortadas de diferentes colores.
- 8º Rapado con líneas de color.
- 9º Representación de maderas, terrenos, agua y materiales de construcción.
- 10º Dibujos sobre cartones ó madera á estilo de taller.

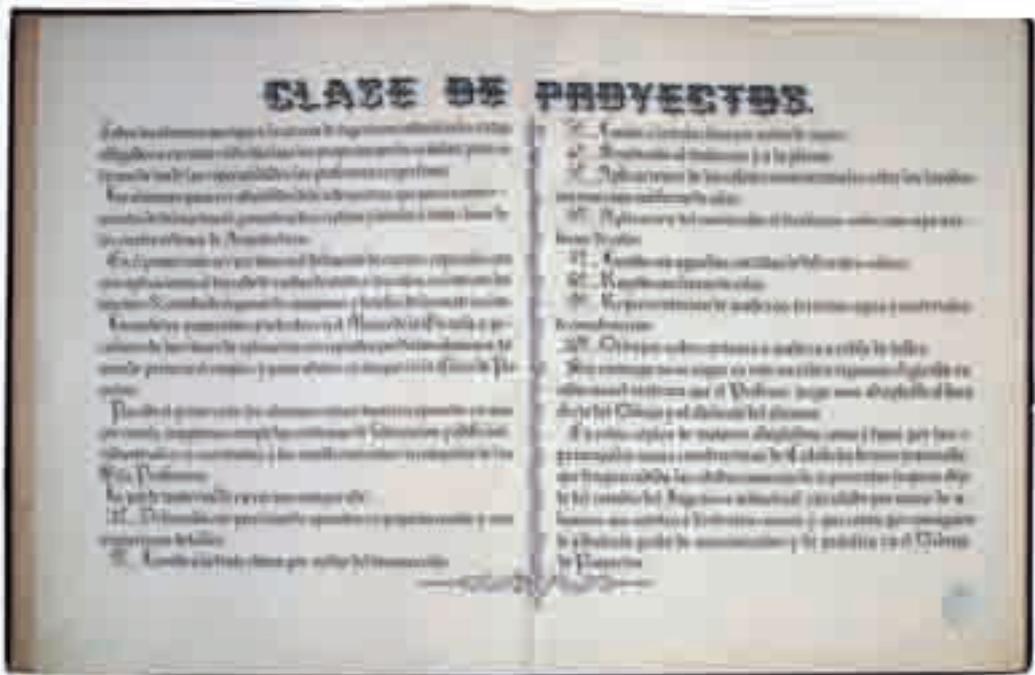
Sin embargo, no se sigue en esto un orden riguroso eligiendo en cada caso el sistema que el Profesor juzga más adaptable al buen efecto del Dibujo y al adelanto del alumno.

En estas copias de motores adoptadas como á tipos por las principales casas constructoras de Cataluña hemos procurado que tengan cabida las citadas maneras de representar lo que es objeto del estudio del Ingeniero industrial, ejecutado por mano de alumnos que asisten á distintos cursos y que están por consiguiente á distinto grado de conocimientos y de práctica en el Dibujo de Proyectos.

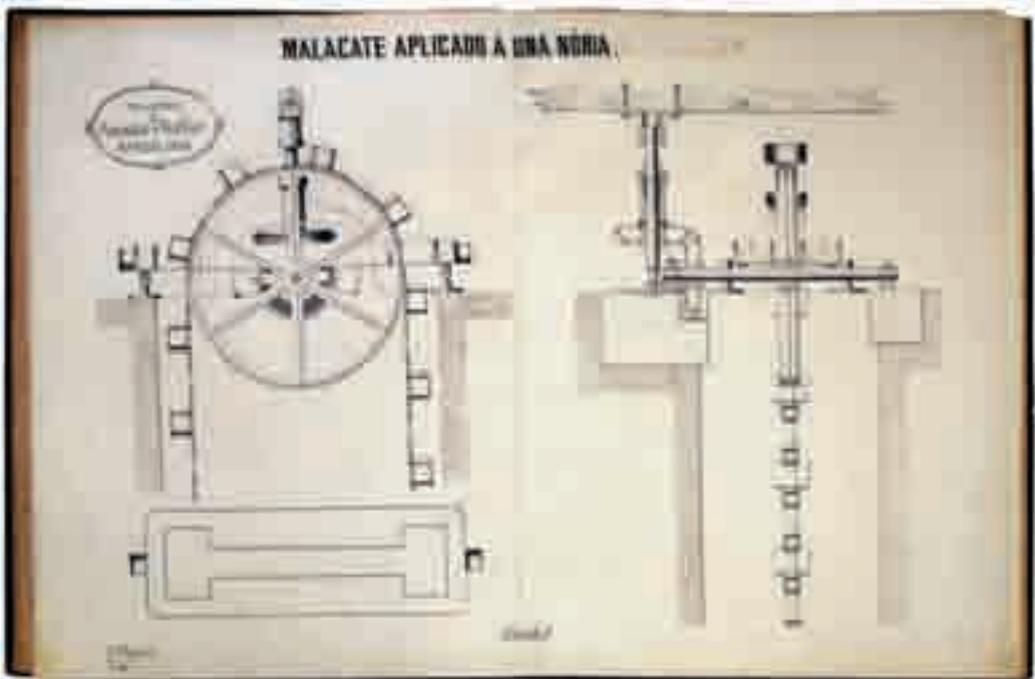
A.2. Portada del álbum. Con signatura 378.6 «18» ESC, comprende doce dibujos que representan máquinas y una que describe un proyecto de riego. Va precedido por dos dobles páginas con sendos textos sobre la Preparación e ingreso en la Escuela, y la Clase de proyectos (ambos se transcriben en las páginas previas). Los dibujos representan «los tipos de motores adoptados por las principales casas constructoras de Cataluña, copiados del natural por los alumnos de la clase de proyectos». Las dimensiones exteriores son 47,5 x 61,0 cm (las interiores, 45,3 x 60,2). Fons Antic de la Biblioteca de l'ETSE Industrials de Barcelona (fotografías: MSS).



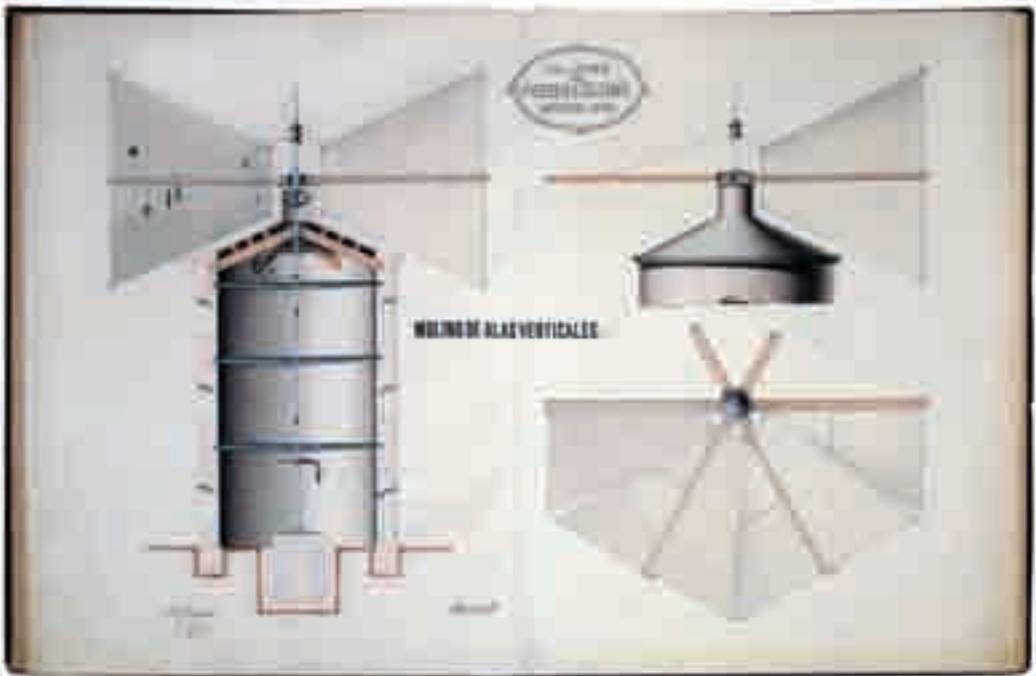
A.3. Preparación e ingreso



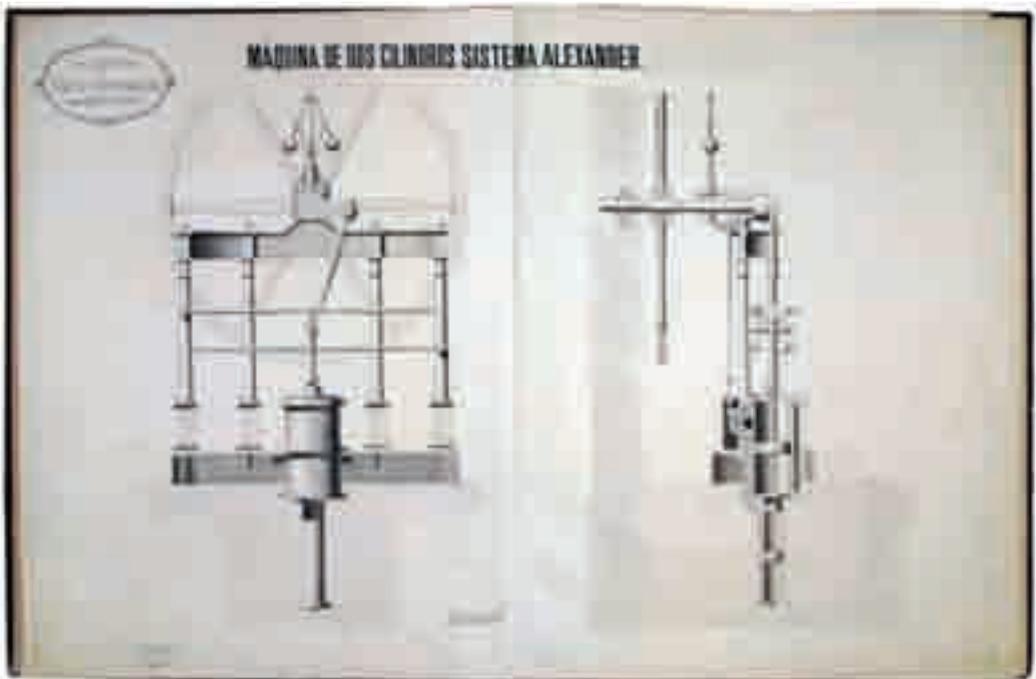
A.4. Clase de proyectos



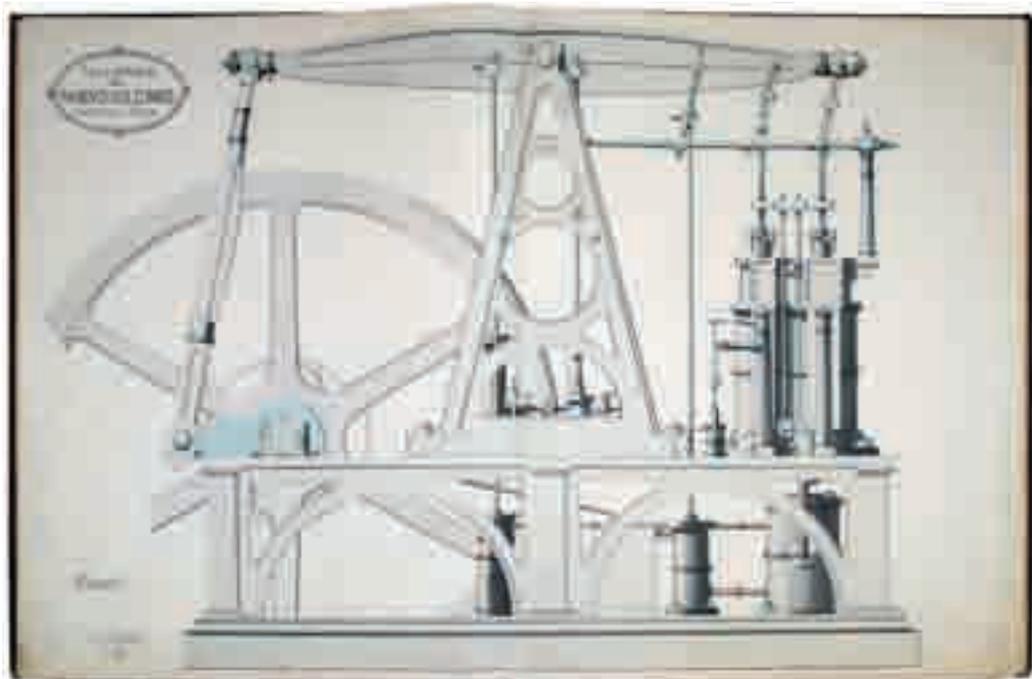
A.5. Lámina 1



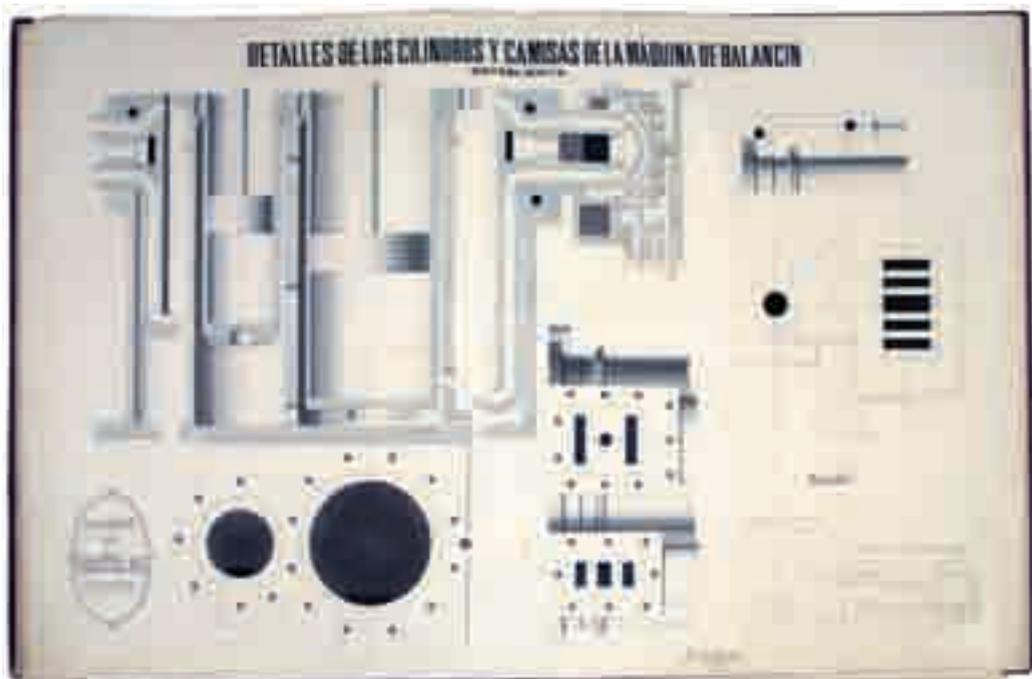
A.6. Lámina 2



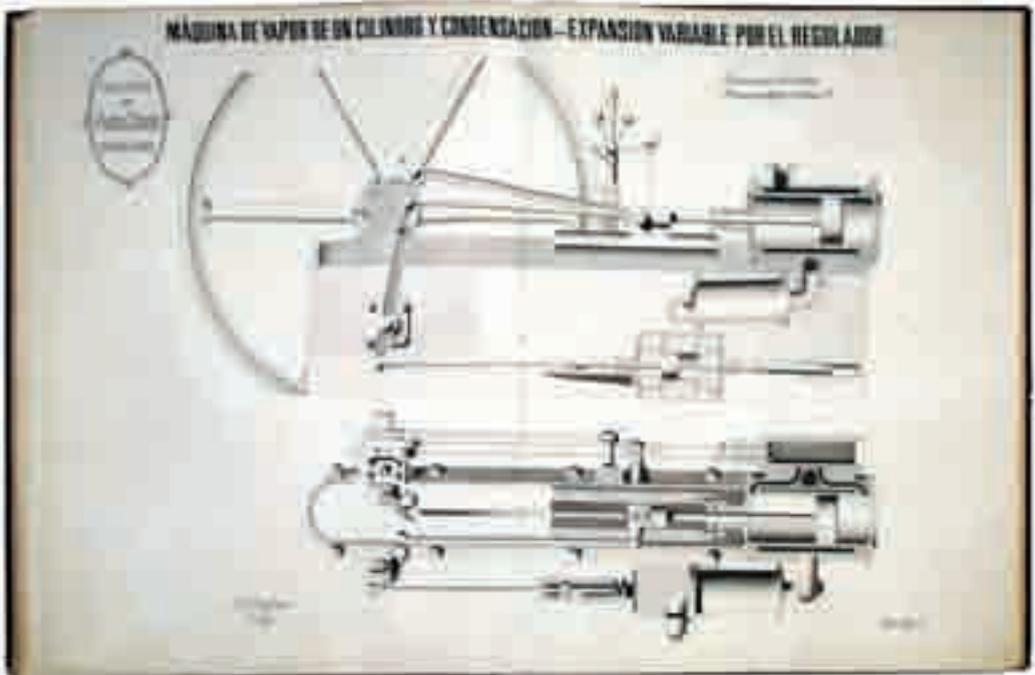
A.7. Lámina 3



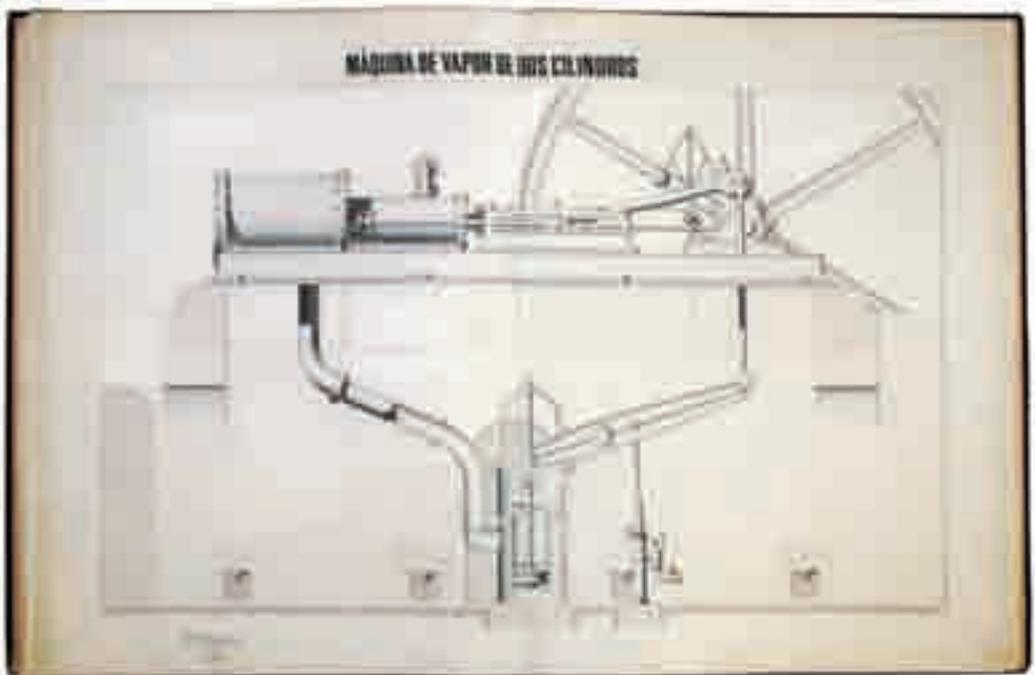
A.8. Lámina 4



A.9. Lámina 5



A.10. Lámina 6



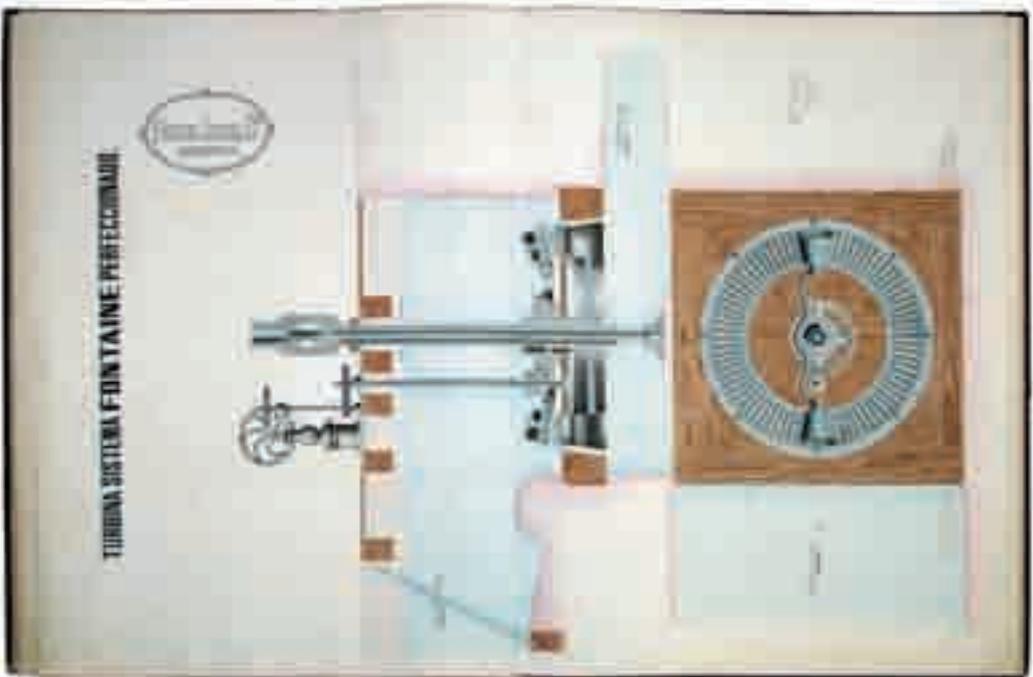
A.11. Lámina 7



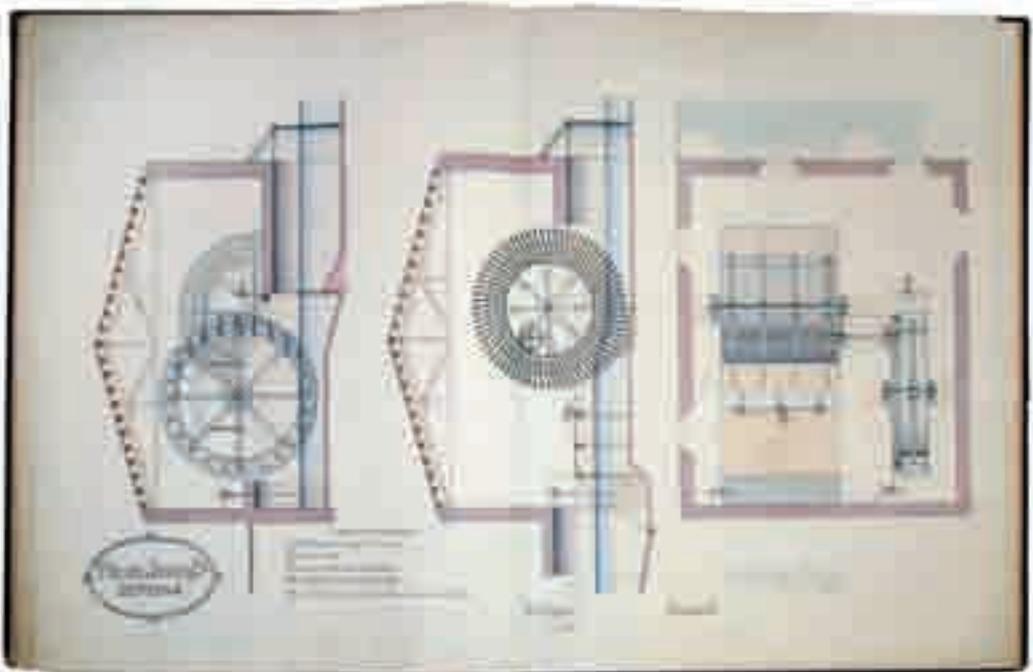
A.12. Lámina 8



A.13. Lámina 9



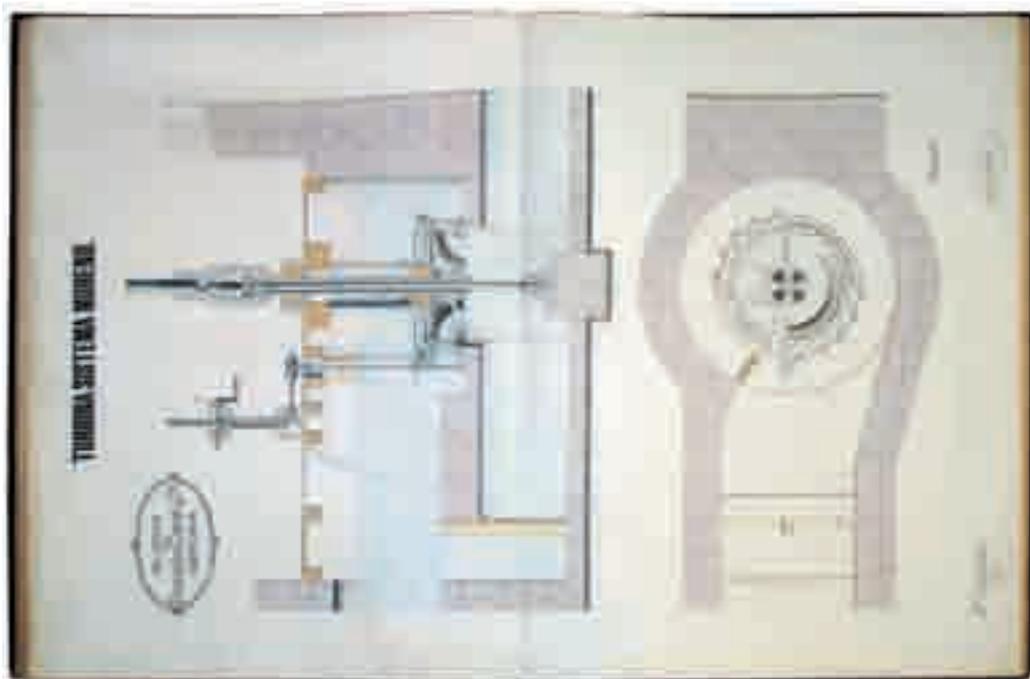
A.14. Lámina 10



A.15. Lámina 11



A.16. Lámina 12



A.17. Lámina 13

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

0.1. Motores en la primera mitad del Ochocientos y dominios de aplicación (J. GOTTI: <i>La maquinaria moderna</i> , 4 vols. más atlas, Barcelona, Impr. de José Gaspar, 1859-1861) ..	13
0.2. La locomóvil, máquina de vapor transportable merced a ruedas, pero rara vez automóvil: 1) Cartel de la feria malagueña de 1900; 2) Locomóviles de uno y dos cilindros de La MTM (C. CAMPS ARMET: <i>Diccionario industrial. Artes y oficios de Europa y América</i> , vol. v, Barcelona, A. Elías y C. ^a , s. f., h. 1890)	19
0.3. «De invenciones según las cuales se pueden hacer los puentes de madera sin poner palos en el río», según A. PALLADIO, en <i>Los cuatro libros de arquitectura</i> (1570): 1) Puente del Cismone; 2) Puente alemán	26
0.4. Detalles constructivos en estructuras férreas: 1) Cercha tipo Polonceau de la estación Oeste de París (fuente: N. VALDÉS: <i>Manual del ingeniero y arquitecto</i> , Madrid, Impr. de Gabriel de Aranda, 1870); 2) Ensamblajes especiales (fuente: A. ROVIRA Y RABASSA: <i>El hierro, sus cortes y enlaces</i> , Barcelona, Libr. de Ribó y Marín, 1900)	29
0.5. Vigas maestras y cálculo mediante el método Cremona: 1) Diversos tipos de vigas (fuente: N. TOUS Y CAZE: <i>Puentes metálicos</i> , Barcelona, Impr. Elzeviriana de Borrás y Mestres, 1909); 2) Aplicación del método Cremona a una viga Warren (fuente: L. GAZTELU: <i>Cálculos de estabilidad de los puentes: exposición elemental</i> , Madrid, Establ. Tip. de Fortanet, 1896)	31
0.6. Puente de hierro o de Sagasta (Logroño, 1881), construido por La Maquinista Terrestre y Marítima, es el puente más largo construido por la empresa en el siglo XIX (fot.: MSS) ..	33
0.7. Industria Malagueña, complejo <i>a la inglesa</i> fundado en 1847 por Manuel Agustín Heredia. (Fuente: Grabado de <i>El Guadalhorce</i> , y fotografía post. a 1904)	50
0.8. Averly (Zaragoza), fábrica <i>moderna</i> del sector metalmecánico (1880): 1) Plano autógrafa de Antonio Averly (1879); 2) Grabado (h. 1905); 3) Salida de la fábrica (h. 1905); 4) Turbina hidráulica (fuente: J. IGUAL: <i>Salto de agua. Motores e instalaciones hidráulicas</i> , Madrid, Dossat, 1913); 5) Reverso de la medalla al mérito otorgada en la Exposición Nacional de Minería, Artes Metalúrgicas, Cerámica, Cristalería y Aguas Minerales (Madrid, 1883); 6) Retrato del ingeniero fundador de la empresa	54
0.9. La Ceres de Bilbao (1899) es la primera fábrica enteramente construida en España con hormigón armado, <i>sistema Hennebique</i> . (Fuente: Archivo Foral de Vizcaya)	58
0.10. <i>Plano detallado de la Fábrica de Hierros de El Pedroso. Proyecto de reforma</i> (Archivo Municipal de El Pedroso, esc. 1:200, ms., 132 x 102 cm, h. 1910-1912) (fot.: MSS y desconocidos)	62
0.11. Diccionarios especializados y generales sobre léxico técnico: 1) <i>Vocabulario descriptivo de ferro-carriles</i> (M. MATA LLANA, 1863); 2) <i>Diccionario general de Arquitectura é Ingeniería</i> (P. CLAIRAC, 1891); 3) <i>Diccionario Industrial. Artes y oficios de Europa y América</i> (C. CAMPS, 1888-1892); 4) <i>Diccionario de electricidad y magnetismo y sus aplicaciones</i> (J. LEFEVRE, 1893)	65
0.12. Exposición con motivo del centenario de la adopción del Sistema Métrico Decimal, 1849-1949. (Fuente: COMISIÓN PERMANENTE DE PESAS Y MEDIDAS: <i>Álbum Conmemorativo de su Primer Centenario, 19 Julio 1849 - 19 Julio 1949</i> , Madrid, 1949)	70
0.13. Puente de celosía y bodega «de diseño»: 1) Puente ferrocarrilero en celosía de Pizarra (Málaga, 1867); 2) Real Bodega La Concha de González-Byass (Jerez, 1870), bodega decimonónica «de diseño». Fue construida por la empresa sevillana Portilla, White y Cía. ...	72
0.14. Puente de Palacio sobre el Gran Neva (San Petersburgo). Premiado en un concurso internacional (1904), el diseño se debe al ingeniero industrial Magín Cornet y Masriera	73
0.15. Naves y pisos, en el membrete del conglomerado empresarial que puso en marcha Narciso Bonaplata (1807-1869) en Sevilla	78

- 2.1. Signos convencionales para la corografía y la hidrografía a escala 1:500.000:
En *Memorial Topographique et Militaire*, año XI, 3.^{er} trim., 5 (1803), secc. 1.^a, cap. III
(«Topographie»), lám. 4123
- 2.2. Fragmento de la hoja provincial de Barcelona del *Atlas de España y sus posesiones
de Ultramar* de Francisco Coello127
- 2.3. Signos de indicación de los diferentes tipos de caminos: «Instrucción para el orden
que deben seguir en las operaciones los ingenieros encargados de la rectificación
de las cartas geográficas de las provincias y de las divisiones territoriales, a fin de
que haya la debida uniformidad en los trabajos», en *Disposiciones relativas a la
rectificación del mapa de España de orden del Ministerio de la Gobernación*, Madrid,
I. Boix, Imprenta y Librero, 1841, fig. 6129
- 2.4. Signos topográficos convencionales empleados en el Instituto Geográfico y Estadístico:
Litografía del Depósito de la Guerra, en J. SUÁREZ INCLÁN, *Tratado de topografía*,
Madrid, Impr. y Lit. del Depósito de la Guerra, 1891, 2.^a ed., lám. 49132
- 2.5. Láminas de la *Introducción a la pasigrafía geológica* de A. von Humboldt, incluidas
en el segundo volumen de los *Elementos de orictognosia* (1805) de A. M. del Río134
- 2.6. Perfil del relieve peninsular, desde la Meseta hasta los Pirineos, pasando por Zaragoza,
publicado por Moritz Willkomm en su obra *Die Strand- und Steppengebiete der
iberischen Halbinsel und deren Vegetation*, 1852136
- 2.7. Estado de los trabajos del mapa geológico en 1873 (fuente: *Boletín de la Comisión
del Mapa Geológico de España*, 1883) y del mapa forestal en 1872 (V. CASALS, 1996)140
- 2.8. Propuesta gráfica efectuada por Daniel de Cortázar para su utilización en los mapas
geológicos. Publicada en el *Boletín de la Comisión del Mapa Geológico de España*
en 1882141
- 2.9. Croquis dasográfico de la sierra de Segura, en la provincia de Jaén (V. CASALS, 1996)144
- 2.10. Plano de rodales del monte *La Garganta* de los propios del Espinar, debido a los
ingenieros de montes Andrés Antón y Villacampa y Agustín Romero. Trazado a escala
1:20.000, fue publicado por la Junta General de Estadística en 1863145
- 2.11. Proyecto de un ferrocarril de Granollers a San Juan de las Abadesas: Plano parcial
en escala 1:5.000. 4.^a hoja, kilómetros 16, 17, 18, 19 y 20. Ildefonso Cerdà, 1856.
Curvas de nivel cada cinco metros. Distrito de Barcelona. Cartoteca del Institut
Cartogràfic de Catalunya151
- 2.12. Plano parcelario de la partida de San Bernabé, sección 25, escala 1:2.000.
M. Sabater y Palet: En *Estadística territorial del distrito de la ciudad de Tortosa*, 1868.
Ayuntamiento de Tortosa, Oficina del Catastre154
- 2.13. Topografía catastral de España. *Estado de los trabajos en la provincia de Madrid*:
1.^o de enero de 1866: Escala 1:400.000. Cromolitografía de la Junta de Estadística
(Biblioteca Nacional de España)155
- 2.14. Plano geométrico del pueblo de San Juan de Vilassar de Mar, Barcelona,
levantado según previene el R. D. circular de 26 de julio 1846: San Juan de Vilassar,
1 de noviembre de 1848158
- 2.15. Plano de los alrededores de la ciudad de Barcelona: proyecto de reforma y ensanche:
Ildefonso Cerdà, 1861. Cartoteca del Institut Cartogràfic de Catalunya159
- 2.16. Proyecto de ensanche de la villa de Bilbao, en *Diccionario enciclopédico Montaner
y Simón*, escala 1:5.000: Curvas de nivel. Cartoteca del Institut Cartogràfic de Catalunya ..160
- 2.17. *Plano de la plaza de Barcelona y su terreno hasta la distancia de una legua de las
fortificaciones, levantado con telémetro, acotado y dibujado por los jefes y oficiales
del Cuerpo de Ingenieros que componen la Brigada Topográfica y de Ensanche
de la misma*, Barcelona, 1853, escala del original 1:5.000. Manuscrito, fragmento162
- 3.1. Ch. Riegger: *Tratado sobre arquitectura civil*, 1763: Láminas, grabadas
por Juan Minguet174
- 3.2. *Dibujo de la figura humana*, cartilla de aprendizaje del dibujo del teniente coronel
y primer comandante de infantería Pedro de la Garza Dalbono, 1863179

- 3.3. Dibujos de Isidro Velázquez, h. 1820: Proceso de proyecto (Archivo General del Palacio Real de Madrid). Sección constructiva para uno de los pabellones de la Plaza de Oriente y una planta-alzado-sección del embarcadero del Retiro181
- 3.4. Ejercicio o prueba de acceso de Pedro Zengotita al título de académico de mérito de la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando, 1822183
- 3.5. El Puerto del Grao de Valencia, en dos momentos del siglo XIX: El primer dibujo ilustra un proyecto de principios de la centuria (1802), debido a Manuel de Mirallas. El segundo documento ilustra la propuesta de Alejandro Cerdá (1878) para el mismo puerto185
- 3.6. Proyecto de Teatro para la Corte, Juan José Fornés y Rabanals 1850: Conservado en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando en Madrid hasta 1857, hay que lamentar la pérdida de los archivos de la Escuela de Arquitectura de Madrid durante la Guerra Civil189
- 3.7. Faro de Buda en Tarragona, planos del proyecto por Lucio del Valle, 1861: Dibujos del proyecto del faro de 51,5 metros de altura, publicados en la *Revista de Obras Públicas*. El faro desapareció definitivamente el 24 de diciembre de 1961195
- 3.8. Planos de Madrid y Zaragoza del último cuarto del siglo XIX: El plano de Madrid de 1872-1874 es el paso a limpio de las labores previas iniciadas por la Junta de Estadística a la escala de 1:500, reducida a la de 1:2.000 mediante el cuidado grabado de Reinoso. El plano de Zaragoza de 1880, dirigido por el ingeniero geógrafo Dionisio Casañal Zapatero (n. 1846), es un sorprendente documento realizado en 249 hojas a escala 1:250; en la hoja reproducida aparece un fragmento de la basílica del Pilar con la capilla198
- 3.9. Dibujos de levantamiento realizados para el conocimiento y la difusión de nuestro patrimonio edificado: la Alhambra de Granada, 1859-1861: El primero de ellos fue realizado por el arquitecto J. de la Gándara (1825-1870), mientras que el segundo es el grabado debido a J. Pi y Margall, en base al dibujo del arquitecto Nicomedes de Mendivil Cuadra202
- 3.10. Dibujos para la restauración de los monumentos: la catedral de León, 1860-1880: El primero corresponde a la campaña inicial de Matías Laviña Blasco (1860); el segundo, a la labor encadenada de Juan Madrazo Kuntz y Demetrio de los Ríos (1869-80)205
- 3.11. Instrumentos de dibujo: De la observación de las dos primeras láminas de la misma se puede deducir el equipo básico de dibujo207
- 3.12. Instrumentos de medición: De los fondos conservados en el Museo Nacional de Ciencia y Tecnología se adjunta un grafómetro de principios del siglo fabricado por Vicente Comas en Cartagena, mientras que el resto de piezas pertenecen al Instituto Geográfico Nacional: una cadena de agrimensor, una brújula taquimétrica de Grassell (h. 1890, Madrid-París), un nivel de precisión de Bastos y Laguna (h. 1890, Zaragoza) y un taquímetro de Amado Laguna (h. 1900, Zaragoza)208
- 4.1. Representación en sistema diédrico: Un procedimiento mecánico para limpiar minerales de hierro (AHOEPM, exp. 27013, 1900)222
- 4.2. Perspectivas isométrica y caballera, ambas paralelas: 1) Máquina de paletas usada en los barcos (N. VALDÉS: *Manual del ingeniero y el arquitecto*, 1870. Atlas, lám. 24, fragmento); 2) Unas mejoras en máquinas magnéticas o dinamoeléctricas aplicables a generadores y a motores (AHOEPM, exp. 01530, 1881)225
- 4.3. Perspectiva lineal (de fotografía directa): «La Industria Nacional, Talleres de la fundición de cañones de los Sres. Portilla, White y Compañía, Sevilla» (*La Ilustración Española y Americana*, 22 de febrero de 1890, n.º VII, p. 117)226
- 4.4. La sombra como recurso ilustrativo: Perfeccionamiento en los aparatos que se emplean para la fabricación de gas para el alumbrado y la calefacción (AHOEPM, exp. 04358, 1884)228
- 4.5. Trazado de sombras en elementos roscados (A. ROVIRA: *Teoría de las sombras*, 1890)228
- 4.6. Insinuación de la sombra mediante diferentes grosores de línea: Diseño de cañón (Andrés Manzano, 1826, ref. 0317, Museo Naval de Madrid)230

- 4.7. Corte escenificado: Mejoras en los buques submarinos provistos de torpedos (AHOEPM, exp. 4182, 1884)231
- 4.8. Representación mediante la planta superior y un corte según la dirección del alzado, con indicación del plano seccionador y aplicación de rayado en la superficie seccionada: Mecanismo inventado por Marcel Pradinet (J. M.^º de LANZ y A. de BETANCOURT: *Ensayo sobre la composición de las máquinas*, París, 1808)232
- 4.9. Utilización de diferentes tipos de línea: Construcción de una máquina para aserrar y cepillar simultáneamente tablitas delgadas de madera (AHOEPM, exp. 00778, 1880) ..233
- 4.10. Representación realista de la textura propia del material: 1) A. LE BEALLE: *Cours élémentaire théorique et pratique de dessin linéaire*, 1890; 2) V. RUIZ: *Lecciones de caminos de hierro*, 1895235
- 4.11. Utilización de líneas de diferente color como recurso codificado: Máquina para sacar agua con rueda (Domingo Espeliu, 1800, ref. 0131, Museo Naval de Madrid)236
- 4.12. Acotaciones: Del plano «Bombas de circulación principal. Motores y sus detalles». Pertenece al álbum litografiado *La Maquinista Terrestre y Marítima, Barcelona. Planos de las Máquinas del Buque de Combate Emperador Carlos V*, 1896 (Fons Històric de Ciència i Tecnologia de la ETSEI de Barcelona). (Litografía de M. Martí Campañá; fot.: MSS)239
- 4.13. Evolución en la representación de elementos roscados: Un sistema de corta-circuito electromagnético automático denominado interruptor bipolar volta (AHOEPM, exp. 20040, 1896)241
- 4.14. Realismo vs codificación: 1) M. BORRELL, *Tratado teórico y practico de dibujo...*, 1866; 2) Un aparato para ordeñar vacas (AHOEPM, exp. 13.424, 1892)242
- 4.15. Apretada síntesis de la evolución en el dibujo de la máquina en el Ochocientos: 1) Detalle de un plano con el código de colores en el atlas con las *Máquinas y calderas de 1.500 caballos con destino a los cruceros de 3.^a clase Isabel II y D. Antonio Ulloa, realizadas por Portilla, White y Cía., Sevilla*; 2) Piezas del cambio de marchas del *Atlas de máquinas y calderas de triple expansión de 9.400 caballos indicados con tiro natural y 13.700 con tiro forzado del crucero Vizcaya, Astilleros del Nervión*, Bilbao, 1894. Ambos álbumes (de similares características) fueron litografiados e impresos por Auto. Imp. L. Curtier, París. (Biblioteca de la ETSI Navales, UPM)249
- 7.1. Museo de Pesos y Medidas del Centro Español de Metrología (Tres Cantos, Madrid): 1) Vista general de la gran sala con patrones anteriores al sistema métrico; 2) Sala acorazada donde se conservan los patrones del sistema métrico decimal. (Fot.: MSS) ...347
- 7.2. Textos relativos al sistema decimal: 1) y 2) Antes de la Ley de Pesos y Medidas de 1849, Gabriel Ciscar y Ciscar en 1800 y Salvador Ros y Renart en 1821 propusieron la adopción del sistema métrico decimal en España; 3) Primer texto monográfico para la enseñanza del sistema métrico decimal en España (1840); 4) Portada de la edición de 1862 de las *Tablas de reducción de las pesas y medidas de Castilla a las métrico-decimales*351
- 7.3. Sanción legal del sistema métrico decimal en España en 1849 y medalla conmemorativa del centenario: Bravo Murillo (óleo de Manuel García Martínez, Hispaletto, 1877, Congreso de los Diputados) y Alejandro Oliván (grabado publicado por *La Ilustración Española y Americana*). En el anverso de la medalla (1949) se aprecia el busto de Isabel II, y en el reverso, la sección en X (o de Tresca) del metro prototipo de platino iridiado sancionado legalmente en 1892356
- 7.4. Juegos del sistema métrico construidos en París en 1850: Fueron realizados por Paul-Gustave Froment (1815-1865), destacado mecánico de precisión salido de las aulas de la École Polytechnique. (Fot.: MSS)360
- 7.5. Reproducciones del metro fabricadas en Barcelona: 1) «por la empresa Soley de Barcelona por orden del Excmo. Sr. D. Carlos Ibáñez e Ibáñez de Ibero, primer Marqués del Mulhacén, siendo Presidente de la Comisión Permanente de Pesas y Medidas en 1880»; 2) Metros de madera con cantoneras de latón. (Fot.: MSS)371

7.6. <i>La Revista Métrica</i> , el medio de expresión de los fieles-contrastes: Editada en Zaragoza por el ingeniero industrial Modesto Torres Cervelló, se publicó hasta 1896. Financiada con suscripciones y publicidad, se muestran anuncios de una casa fabricante de Sevilla y otra comercial de Zaragoza, que aún existe	374
7.7. Los patrones españoles del metro correspondientes al Convenio Diplomático de 1875: Prototipos número 17 y número 24, de platino iridiado en forma de X (o sección de Tresca)	376
8.1. Construcción en madera: Cubierta de la famosa sala de ejercicios ecuestres de Moscú (1818), diseñada por Agustín de Betancourt y descrita en BETANCOURT (1818)	382
8.2. Construcción en hierro: Viaducto del Salado, diseñado por José Olano (1897)	382
8.3. Construcción en hormigón armado: La construcción del puente de Golbarado, Santander, diseñado por J. Eugenio Ribera (1900)	384
8.4. <i>Essai sur une application des règles de maximis & minimis à quelques problèmes de statique, relatifs à l'architecture</i> , por Charles-Augustin de Coulomb (presentación realizada en 1773), Mémoires de l'Académie Royale des Sciences, vol. 7, París, 1776 ..	387
8.5. <i>Estudio sobre la resistencia y estabilidad de los edificios sometidos a huracanes y terremotos</i> , obra de R. Cerero (1890), general de brigada, comandante general subinspector de Ingenieros del Archipiélago Filipino	390
8.6. Dos publicaciones notables: 1) J. Monasterio: <i>Nueva Teórica sobre el empuje de la bóvedas</i> , Madrid, 1808; 2) Ch. Dupin: <i>Geometría y mecánica de las artes y oficios</i> , Madrid, 1835 (traducido del francés por Juan López Peñalver de la Torre, 1825, para su uso en el Real Conservatorio de Artes, Madrid)	393
8.7. Débito a Claude Louis Navier: C. DEL PIÉLAGO, <i>Teoría Mecánica de las construcciones</i> , Madrid, 1837	395
8.8. Tres documentos relativos a cursos de Eduardo Saavedra en la Escuela Especial de Caminos: 1) Portada del texto manuscrito y litografiado <i>Lecciones de resistencia de materiales</i> , 1859; 2) Portada de las notas de clases <i>Lecciones de Mecánica Aplicada y de Hidráulica</i> , redactadas por varios alumnos de la promoción de 1859; y 3) Lámina de <i>Teoría de los puentes colgados</i> , Madrid, Imprenta Nacional, 1864 (2. ^a ed.)	400
8.9. P. DE ALZOLA: <i>Teoría del cálculo de las vigas rectas</i> , Madrid, 1870	402
8.10. J. M. de Zafra (1869-1923) inició en España el desarrollo del cálculo de obras de hormigón armado, en paralelo con las realizaciones de José Eugenio Ribera. Su <i>Cálculo de estructuras</i> data ya de 1916	405
8.11. J. Echegaray: <i>Conferencias sobre física matemática</i> , Madrid, 1909: Casi septuagenario, Echegaray fue designado para regentar la cátedra de Física Matemática de la Universidad Central (1905-1915)	407
9.1. Materiales y enlaces: La configuración en vigas de los materiales metálicos y sus uniones se expanden rápidamente a lo largo del siglo XIX	418
9.2. Planteamiento del cálculo de los arcos por Coulomb	420
9.3. Cerchas Polonceau para la cubrición de la estación de Austerlitz (París, 1869). Abajo se representa una viga triangulada	422
9.4. Cercha biapoyada en celosía de la Lime Street Station, con luz de 50 m. Richard Turner (1850) construyó esta formidable viga, totalmente articulada y que eliminaba la fea apariencia de los tirantes metálicos de las vigas Polonceau	424
9.5. Celosía curva atrantada a la manera de las cerchas de Polonceau: Sección transversal de la estación del Este de París (1849-53)	425
9.6. Pórtico tipo de Henry de Dion: Diseñado para la Exposición Universal de París de 1878, se utilizó para cubrir muchas estaciones, entre ellas las de Atocha y Delicias de Madrid	425
9.7. Pórtico transversal triangulado de 112 m de luz: Corresponde a la Sala de Máquinas de la Exposición Universal de París de 1889	426
9.8. Sinsentido resistente	429

- 9.9. Estación de Medina del Campo: 1) Vista frontal; 2) Cerchas Polonceau y arriostramiento longitudinal; 3) Dibujo y realización de los nudos de coronación; 4) Dibujo y realización de los enlaces entre el tirante y la viga principal de las cerchas Polonceau . . .431
- 9.10. Cubierta de la estación de Atocha: Construida por la Société Anonyme de Construction et des Ateliers de Willebroeck (Bélgica), por encargo de la compañía MZA (Madrid, Zaragoza, Alicante), 1888-1892432
- 9.11. Estación Término (o de Francia) de Barcelona: Con dos naves, ambas están en curva y los cuchillos que la soportan abandonan la disposición de Henry de Dion. Se emplea la mucho más eficaz y lógica de la Sala de Máquinas de París. El proyecto de la estructura se debe al ingeniero industrial Andrés Montaner i Serra, de La Maquinista Terrestre y Marítima, la empresa constructora434
- 9.12. Mercado de Les Halles de París: Esta misma estructura se utiliza en los madrileños mercados de la Cebada y los Mostenses, de construcción francesa437
- 9.13. Mercados madrileños: 1) de la Cebada (vista exterior de las persianas que cerraban el edificio); 2) de los Mostenses. Encargados los proyectos en 1867 al arquitecto Mariano Calvo y Pereira, la construcción comenzó en 1870, siendo inaugurados ambos el mismo día en 1875438
- 9.14. Mercado del Borne de Barcelona: 1) Litografía de 1896 (fuente: A. del CASTILLO, 1955); 2) Estructura de cubrición de las naves longitudinales; 3) Cúpula. Fue construido por La Maquinista Terrestre y Marítima; 4) Intersección entre la cúpula y las celosías transversales440
- 9.15. Mercado de San Antonio de Barcelona (1888). Fue construido por La Maquinista Terrestre y Marítima442
- 9.16. Mercado de la Boquería (o de San José) de Barcelona: Cubierta a dos aguas, sustentada por vigas en celosía transversales, de canto variable443
- 9.17. Mercado Central de Valencia: 1) Interior; 2) Formidable resolución del sostén de la cúpula y el enlace de su estructura con las naves principales y del crucero444
- 9.18. Palacio de Cristal del Retiro de Madrid, diseñado por el arquitecto Ricardo Velázquez (1887)445
- 9.19. Artificio basado en la inscripción de un círculo tangente interior y la triangulación de las esquinas446
- 9.20. Invernadero en el parque de la Ciudadela de Barcelona (1888)447
- 9.21. Faros: 1) de Buda, en la desembocadura del Ebro (Lucio del Valle, 1864); 2) de Punta de la Bana, también en la desembocadura del Ebro (Lucio del Valle, 1864); 3) de San Sebastián de Cádiz (Rafael de la Cerda, 1912)448
- 10.1. Puente colgante de Santa Isabel sobre el río Gállego (Zaragoza): El puente inicial se debió a la compañía de los hermanos Seguin (1844), siendo reconstruido en 1889-1890 por la empresa del también ingeniero francés Ferdinand Arnodin453
- 10.2. Puente de Isabel II sobre el río Guadalquivir, en Sevilla: Projectado según la patente de A. Polonceau por los ingenieros franceses G. Steinacher y F. Bernadet, fue construido por la fundición hispalense San Antonio de Narciso Bonaplata. Conocido popularmente como el puente de Triana, se inauguró en 1852. (Fot.: J. Laurent; fuente: VV. AA., *Puentes de hierro*, 1878b). (En el vol. iv, fig. 9.6, p. 526, se reproduce *Vista de Sevilla con el Puente de Triana*, óleo de Manuel Barron y Carrillo, 1860)455
- 10.3. Puente Internacional de Tuy sobre el río Miño (Pontevedra): De tipo celosía, proyectado por Pelayo Mancebo y Ágreda (1880), fue construido por la empresa belga Braine Le Compte, e inaugurado en 1886. (Fot.: L. Fernández Troyano)456
- 10.4. Esquemas de algunas vigas planas utilizadas con frecuencia en el siglo XIX457
- 10.5. Puentes de piedra: 1) de Navarcles, sobre el río Llobregat (Barcelona), en la carretera de Manresa a Gerona, 1864. Fue proyectado por José Álvarez y Enrique de León, 1853; 2) de Vargas sobre el río Pas, en la carretera de Torrelavega a La Cavada (Cantabria), 1864. (Fot.: J. Laurent)459

- 10.6. Viaducto sobre el río Esva (Asturias), en la línea de ferrocarril de Oviedo a Ribadeo (1866) 460
- 10.7. Puente de Contreras sobre el río Cabriel (1849): En la carretera de Madrid a Valencia por las Cabrillas (Cuenca-Valencia), el proyecto es de Lucio del Valle. (Fot.: J. Laurent; fuente: VV. AA., *Puentes de hierro*, 1878b) 462
- 10.8. Puentes de madera: 1) provisional sobre el río Guadalquivir, en el km 48 de la línea de ferrocarril de Córdoba a Sevilla, 1858 (ROP, 1859); 2) de la Princesa sobre el río Oñar, en Gerona. Ingeniero Víctor Marti, 1853 (ROP, 1853) 464
- 10.9. Puente colgante de San Francisco sobre el río Nervión en Bilbao (reconstrucción de 1852). Arquitecto Antonio Goicoechea. Ingenieros Félix Uhagon y L. de Lamartinière. Empresa constructora: J. Seguin. (Fot.: J. Martínez Sánchez; fuente: VV. AA., *Puentes de hierro*, 1878b) 469
- 10.10. Puentes colgantes metálicos: 1) de Arganda sobre el río Jarama, en la carretera de Madrid a Valencia. Proyecto inicial de Pedro de Miranda, inaugurado en 1843, reconstruido por Eugenio Barrón en 1863; 2) de Mengíbar sobre el río Guadalquivir (Jaén), en la carretera de Bailén a Málaga. Construido por la Fundación de San Antonio, Narciso Bonaplata (Sevilla), 1842. (Ambas fotografías son de J. Laurent; fuente: VV. AA., *Puentes de hierro*, 1878b) 472
- 10.11. Puente metálico colgante de Lascellas sobre el río Alcanadre (Huesca), en la carretera de Huesca a Monzón, 1860. Proyecto de Mariano Royo Urieta. (Fuente: VV. AA., *Puentes de carreteras*, 1878a). (En el vol. iv de esta misma colección, fig. 9.22, p. 551, se reproduce una fotografía de este puente por J. Laurent y Cía., 1867) 476
- 10.12. Puente de Vizcaya sobre la ría del Nervión, en Bilbao: Patrimonio de la Humanidad según la Unesco (2006), su diseño se debe a Alberto de Palacio Elisagüe y Ferdinand Arnodin (en 1893 y estado actual). (En la fig. 3.9, p. 253 del vol. iv de esta colección se pueden ver dibujos de las patentes ES 7.506 (noviembre 1887) y ES 14.246 (enero 1893), de Alberto de Palacio Elisagüe) 478
- 10.13. Puente *bow-string* sobre el río Cinca en Monzón (Huesca), proyecto del ingeniero Joaquín Pano Ruata, 1883. (Fot.: ROP, 1897) 483
- 10.14. La pasadera del agua de Sevilla o pasarela de Chapina (1898): De tipo *bow-string* con arcos muy rebajados y piso de tablones, sostenía las tuberías que traían agua procedente del Aljarafe y de la Sierra Norte de Sevilla. Realizada para «The Seville Water Works Company», firmaron el proyecto los ingenieros Charles A. Friend y Alfonso Escobar: 1) Plano de un artículo de Juan M. Zafra (ROP, año xiv, n.º 1.209, pp. 531-538); 2 y 3) Fotos anónimas de época (h. 1920) 484
- 10.15. Puente de El Grado sobre el río Cinca (Huesca): En la carretera de Barbastro a la frontera francesa, el proyecto es de José Echeverría, siendo director de la obra Juan Bautista Nevot. Constructora: Schneider y Cía., 1863. (Fot.: J. Martínez Sánchez; fuente: VV. AA., *Puentes de hierro*, 1878b) 485
- 10.16. Puente de Enrique Estevan sobre el río Tormes (Salamanca), proyecto de Saturnino Zufiaurre, 1898 486
- 10.17. Viaducto de Pino sobre el río Duero (Zamora): Proyecto de José Eugenio Ribera (1897), fue construido por Duro-Felguera (1914) 487
- 10.18. Puente de vigas en celosía de las Mellizas (1863): Sobre el río Guadalhorce en la carretera de Málaga a Cádiz, el proyecto es del ingeniero Pablo de Alzola y Minondo. (Fuente: VV. AA., *Puentes de hierro*, 1878b) 490
- 10.19. Viaducto de Ormáiztegui sobre el río Estando (Guipúzcoa) en la línea Madrid-Hendaya (1863): Proyectado por Alexander Lavelley, la realización es de la Société de Construction des Batignolles de París. (En el vol. iv, fig. 9.25, p. 557, se reproduce el conocido óleo de Darío de Regoyos, 1896) 491
- 10.20. Puentes de vigas: 1) de alma llena de Lora del Río, sobre el Guadalquivir, en la línea de ferrocarril de Córdoba a Sevilla (fot.: J. Martínez Sánchez); 2) en celosía, D. Álvaro, sobre el Guadiana, en Mérida, en la línea de ferrocarril de Ciudad Real

- a Badajoz. Empresa constructora M. Parent y Schaken, 1866 (fot.: J. Laurent).
(Fuente: VV. AA., *Puentes de hierro*, 1878b)493
- 10.21. Viaductos: 1) Sobre el arroyo del Salado (Jaén), en la línea Linares-Almería.
Obra dirigida por Guerin, Basinski, Moreno Osorio y Acedo, inaugurada en 1899,
fue construida por la empresa francesa Fives-Lille; 2) Del Hacho sobre el río
Guadalhortuna (Granada), en la línea Linares-Almería. Construido por la empresa
francesa Fives-Lille, fue inaugurado en 1898; 3) Viaducto Pontevedra en Redondela.
Proyecto de Mariano Carderera, 1881. Estructura metálica fabricada por La Maquinista
Terrestre y Marítima495
- 11.1. Máquina de vapor de doble efecto, en Franz Reuleaux, *Tratado general
de mecánica* (1895)502
- 11.2. *Curso industrial de maquinaria* de F. Arau (1838)519
- 11.3. Efectos dinámicos de las fuerzas en las máquinas. Tomo IV de la *Mecánica racional
e industrial* de José de Odriozola (1863)522
- 11.4. *Resumen de las lecciones del curso de construcción de máquinas* de C. Segundo
Montesino (1853): Portada del tomo primero y láminas525
- 11.5. *Resumen de las lecciones del curso de construcción de máquinas* de C. Segundo
Montesino (1853): láminas XXII, XIV y XV527
- 11.6. *Tratado completo de maquinaria* de F. Arau (1848)528
- 11.7. *Manual del ingeniero* de N. Valdés (1859): láminas 9 y 11530
- 11.8. *Los mecanismos* de R. de Aranaz e Izaguirre (1889): Portada, figura 201 y lámina 8 ...532
- 11.9. *Apuntes de clase de Máquinas* de V. Garcini (1890): Portada, figuras 116-117
y lámina 10535
- 12.1. Láminas de los atlas correspondientes a la *Descripción de las máquinas de vapor*
de J. J. MARTÍNEZ Y TACÓN (1835) y a la *Breve idea de las máquinas de vapor* de
F. CHACÓN Y ORTA (ed. de 1859): 1) Máquina de balancín superior; 2) Máquina
de barra invertida553
- 12.2. Esquemas de los mecanismos para la transmisión del movimiento del émbolo al eje
propulsor o árbol (G. FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ, 1879, pp. 46 y ss.; Atlas, lám. 1)556
- 12.3. Láminas de los atlas correspondientes al *Curso de máquinas de vapor* de
G. FERNÁNDEZ Y RODRÍGUEZ (1879) y al *Curso Teórico-práctico de máquinas de vapor*
de J. QUINTANA Y JUNCO y J. ORTIZ DE LA TORRE (1903): 1) «Máquina compuesta
o del sistema Woolf»; 2) Secciones, esquemas y diagramas diversos557
- 12.4. *Teoría y cálculo de las máquinas de vapor y de gas con arreglo a la termodinámica*,
de Gumersindo de VICUÑA (1872b): 1) Portada; 2) La «máquina del español Reinlein» ...563
- 12.5. *Explosiones de generadores de vapor*, de Guillermo J. de GUILLÉN GARCÍA (1895)570
- 12.6. Máquina de vapor de balancín superior, característica de la producción de Nuevo
Vulcano. Fotografía perteneciente al álbum de la *Exposición Catalana de 1877*583
- 12.7. Máquinas de vapor verticales con cilindro inferior de Alexander Hermanos.
(Fuente: publicidad en *Industria e Invenciones*, desde 1892 a 1905)585
- 12.8. Máquinas de vapor horizontales de La Maquinista Terrestre y Marítima
(Fuente: C. CAMPS ARMET, 1889)587
- 12.9. Máquinas propulsoras del acorazado *Emperador Carlos V*, fabricadas por
La Maquinista Terrestre y Marítima (1896). (Fuente: *Mundo Naval*, 1 de mayo de 1897;
tomada a su vez de la revista *Engineering*). En la esquina superior izquierda, postal
coloreada con el buque en el puerto de Vigo589
- 12.10. *Máquinas de 2.600 caballos indicados con destino al cañonero de 1.ª clase Audaz*
(Portilla, White y C.ª, Sevilla, 1890). Álbum litografiado por Auto. Impr. L. Courtier,
43, rue Dunkerque, París. (Biblioteca de la ETSI Navales, UP de Madrid)591
- 12.11. Patente de invención: *Un regulador automático del vapor*. Fue solicitada el
23-III-1886 por Juan Mestres Viñals, residente en Sevilla (AHOEPM, expediente 5.717) ..592

- 12.12. Máquina semifija y locomóvil de Fundición La Primitiva Valenciana.
(Fuente: *La Academia: Semanario Ilustrado Universal*, t. IV, n.º 17,
7 de noviembre de 1878, pp. 262-263)593
- 12.13. Máquinas de vapor horizontales de alta presión y condensador, con regulador
automático y expansión variable, de pequeña potencia. 1) De Vda. e Hijos de R. Sales
(fuente: *Industria e Invenciones*, 5 de abril de 1890); 2) De Vda. e Hijo de Valero Cases
(fuente: *La Gaceta Industrial*, XX, 1884, pp. 56-58)595
- 12.14. Dibujos de máquinas de vapor con pistón rotativo: 1) Del privilegio real
de invención solicitado en 1858 por Valentín Silvestre Fombuena, residente en Madrid
(exp. 1.680, AHOEPM); 2) De la patente solicitada en 1880 por Pascual Yvars y Crespo,
residente en Jávea (exp. 1.007, AHOEPM)597
- 12.15. Motores de combustión externa e interna de Miguel Escuder: 1) Calórico vertical
(patente de invención 6.426, sol. noviembre 1886, AHOEPM); 2 y 3) Tipo Otto, ingenios
que empezó a construir bajo la patente de introducción 157, «Una máquina motor
a gas atmosférico sistema “Otto” horizontal» (sol. diciembre de 1878). (Fuentes: «Motor
sistema Escuder», *Industria e Invenciones*, julio de 1897; motor marca Ideal, de Miguel
Escuder e Hijos, *España Comercial e Industrial: Álbum Artístico*, 1902)601
- 12.16. Dos patentes de invención idénticamente tituladas: *Un nuevo motor de gas*:
1) Ingenio vertical de Bertrán Hermanos y Esteve, sol. en marzo de 1881. (Fuente:
AHOEPM, exp. 1.509); 2) Motor horizontal patentado por Bertrán Hermanos en
diciembre de 1883. (Fuente: AHOEPM, exp. 3.812); 3) Ilustración del motor anterior
en *Industria e Invenciones* (9 de febrero de 1884, p. 54); posteriormente esta misma
se reproducirá para ilustrar la voz *máquina de gas* en el *Diccionario general
de arquitectura e ingeniería* de P. CLAIRAC (h. 1890, vol. v, p. 138)607
- 12.17. *Un motor de gas*, patente de invención 1.810, solicitada por Francisco Bas.
(Fuente: AHOEPM)609
- 12.18. Motor de gas «sistema Torres»: 1) «La fig. 1 del plano representa una sección
transversal del motor y la fig. 2 un alzado, parte en corte, parte en vista», exp. 10.290,
AHOEPM, 1889; 2) «La tapa del motor objeto de la patente principal con la
modificación correspondiente a este certificado de adición», exp. 15.725,
AHOEPM, 1894; 3) Imagen publicitaria en *Industria e Invenciones* desde 1896
y durante varios años611
- 12.19. Diferentes disposiciones en motores de «gas detonante» multicilíndricos.
(Fuente: J. M.ª SAINZ, 1906, p. 133)613
- 13.1. J. ECHEGARAY: *Tratado elemental de Termodinámica*, Madrid, 1868: 1) Usando
diagramas presión-volumen define las «curvas térmicas de primera y de segunda clase»;
2) Echegaray demuestra que la forma de la función de la temperatura es
«independiente del agente físico que se emplee»639
- 13.2. F. DE PAULA ROJAS: *Termodinámica. Su historia, sus aplicaciones y su importancia*,
Barcelona, Luis Tasso, 1876: Explicación de la generalización del principio de Carnot
(segunda ley de la termodinámica) debida a Clausius645
- 14.1. Aparato médico de aplicaciones eléctricas: Servía para dar corrientes farádicas
y galvánicas. Fue fabricado por PRIETO, constructor de aparatos electromedicinales
e industriales, Barcelona. (Museu de la Ciència i la Tècnica de Catalunya)652
- 14.2. Cubierta del libro *Manipulaciones electrotípicas o tratado de galvanoplastia* (1844):
Traducción de la segunda edición de la versión francesa, original de Charles V. Walker.
(Biblioteca de Catalunya)653
- 14.3. Bobina de inducción o «carrete de Ruhmkorff»: G. VERDÚ, *Nuevas minas de guerra...*,
Madrid, 1854, detalle de la lámina 3 (arriba), y lámina 4. Es seguramente la más
antigua representación del aparato publicada en España. La lámina 4 incluye
también el despiece de la pila de Bunsen utilizada655

- 14.4. Lámpara de arco voltaico con regulador Deleuil y reflector parabólico, y serie de cinco pilas de Bunsen: «Sobre la luz eléctrica», *El Museo Universal*, 15-IV-1858. El aparato, con cincuenta de estas pilas, era utilizado por el autor del artículo, Eduardo Guillermo Torres, para producir un haz de luz657
- 14.5. Farola de arco voltaico en la plaza de la Armería del Palacio Real de Madrid: *La Ilustración*, 21-II-1852. Es probable que las pilas se alojaron en el interior de la plataforma sobre la que descansaba659
- 14.6. Disposición de las luces de arco voltaico en la hilatura de Hijos de Ricart, Manresa (1876). H. Fontaine, *Éclairage à l'électricité*, París, 1877, p. 141662
- 14.7. Francisco de Paula Rojas y Caballero Infante: 1) Montaje realizado con la primera dinamo Gramme construida en España por Dalmau bajo licencia (*Álbum de fotografías. Escuela de Ingenieros Industriales*, Barcelona, 1878, Fons Històric de Ciència i Tecnologia del mismo centro); 2) Portada del Cuaderno Primero de la serie denominada *Elementos de Electrodinámica Industrial* (1884 y ss.); 3) Portada y esquema del *Estudio Elemental Teórico-Práctico de las Máquinas Dinamo Eléctricas* (1887)665
- 14.8. El «Monte Helicon» iluminado con luz eléctrica en Madrid: *La Ilustración Española y Americana*, 30-V-1881, grabado a partir de una fotografía de Laurent666
- 14.9. Iluminación de una mina por el sistema de división de la luz de Molera y Cebrián: *La Llumenera de Nova York*, n.º 54, octubre de 1879670
- 14.10. Tomás José Dalmau i García e Isidor Cabanyes i Olzinelles: *La Ilustración Militar*, julio de 1882673
- 14.11. Iluminación eléctrica exterior y central provisional instalada en el Ministerio de la Guerra, Madrid (1882): *La Ilustración Española y Americana*, 22-VI y 8-VII-1882, respectivamente675
- 14.12. Plano de la patente de acumuladores eléctricos de Luis La Orden Otaolaurruchi y Enrique Bonnet Ballester (1883): AHOEPM, exp. P3782677
- 14.13. Central eléctrica de la Sociedad Matritense de Electricidad y dinamo *Gramme L5*: 1) Sala principal de la central «Reina Mercedes», instalada en los Jardines del Buen Retiro de Madrid en 1883, Las dinamos eran todas del tipo L5; 2) La dinamo Gramme L5 (*La Ciencia Eléctrica*, 1-VII-1890). La construía en Barcelona la Sociedad Española de Electricidad, cuyo ingeniero Narcís Xifra hizo algunas modificaciones en el diseño original, entre las que destaca la utilización de electroimanes planos679
- 14.14. Plano de la primera red eléctrica de Madrid, construida por la Sociedad Matritense de Electricidad: «L'industrie électrique en Espagne et au Portugal», *La Lumière Électrique*, 18-IV-1885681
- 14.15. *El Electricista* (Biblioteca de la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona)682
- 14.16. Planas, Flaquer y Cía.: 1) La central hidráulica de Gerona: Planta del molino y central eléctrica de la ciudad, donde se dispuso por primera vez en España, en 1886, una red de corriente alterna. El dibujo representa la instalación existente en 1891 (J. C. ALAYO, 2008, p. 115); 2) Anuncio de la sociedad en R. YESARES, *Anuario de Electricidad*, Madrid, 1901. Constituida en 1884, como continuación de otra anterior que inició su andadura en 1857687
- 14.17. Esquema de una primitiva instalación eléctrica de Zaragoza: *La Naturaleza*, 1895. Muestra la realizada en 1889 por la Compañía Aragonesa de Electricidad, con una línea bifásica a cuatro hilos; iba desde el molino hasta la central de la ciudad, donde dos motores accionaban sendas dinamos y convertían en continua la corriente alterna recibida689
- 14.18. Batería de pilas de dicromato potásico con circulación continua, debida a José Santiago Camacho (1875): *The Engineer*, 22-IX-1876690
- 14.19. Central de Sevilla: fue la segunda que construyó en España la empresa Allgemeine Elektrizitäts Gessellschaft (AEG) y se inauguró en 1896 con dos máquinas de vapor de 300 CV cada una (J. C. ALAYO, 2008, p. 895)691

- 15.1. La Auxiliar de la Industria. Vista general y planta del conjunto: 1) Dibujo ilustrativo del conjunto; 2) Planta del mismo, firmado por José Oriol Mestres el 28 de abril de 1869. (AHCB, Fondo gráfico, nº 5.659 y 5.660)699
- 15.2. Can Ricart: Conjunto fabril de carácter neoclásico proyectado por el arquitecto José Oriol Bernadet en 1853 y completado por José Fontseré entre 1860 y 1878. El dibujo superior, realizado por Antonio Castelucho en 1888, se publicó en *La Exposición* el 3 de mayo de 1887. Abajo, girado 180° para lectura en correspondencia con el dibujo, *Plano general de la fábrica de estampados de los señores Ricart y Compañía* (José Fontseré y Mestres, 1877)702
- 15.3. La España Industrial: Fundada en 1847 por los hermanos Muntadas. Las ilustraciones proceden de *La España Industrial: libro del centenario*, 1847-1947, Barcelona, Seix Barral, 1947. 1) Grabado publicado en *La Academia* el 23 de noviembre de 1878; 2) Distribución de la planta de la fábrica con los espacios productivos hacia 1929; 3) Vista fotográfica de la fábrica a principios del siglo xx708
- 15.4. La Maquinista Terrestre y Marítima: Fundada en 1855 e instalada en 1856 en el barrio de la Barceloneta, se mantuvo en el mismo lugar hasta el cierre de la producción en 1965. 1) Vista del conjunto según un grabado de Antonio Castelucho de 1856; 2) Plano de La Maquinista Terrestre y Marítima en 1886711
- 15.5. Fábrica Batlló Hermanos: Conjunto fabril de arquitectura ecléctica proyectado por el maestro de obras Rafael Guastavino y el ingeniero Alejandro Marly en 1870. 1) Vista del conjunto según un grabado de Agustín Rigalt de 1878; 2) Plano de distribución y función de las diferentes secciones hacia 1887 (R. GRAUS *et al.*, 2008, p. 338; está girado unos 90° a la izquierda con respecto a la vista superior)713
- 15.6. Destilería Folch y Albiñana: 1) Vista y detalle de la fachada principal, obra del arquitecto Antoni Costa; 2) Vista del salón de maquinaria y aparatos; 3) Planta del complejo en 1913, momento de máxima expansión de la empresa. (Fuente: *La Ilustración Española e Iberoamericana*, 1883)716
- 15.7. Fábrica Darder: Ambos planos fueron firmados por el ingeniero industrial Camilo Juliá. (AMCB, Q127, Obras mayores – Fomento, exp. 2089 bis C, 1869). 1) El estado de la fábrica en 1869; 2) La sección de calderas de vapor que se solicita legalizar719
- 15.8. Fábrica Tous: Plano firmado por el ingeniero industrial Gaspar Forcades. (AMCB, Q127, Obras mayores – Fomento, exp. 1.963 bis C, 11 de abril de 1898)721
- 15.9. Talleres de La Vanguardia: Plano de la planta realizado para solicitar los permisos de instalación de tres electromotores (de 4, 8 y 20 CV) y dos máquinas de imprimir en la casa propiedad de Ramón Godó en la calle de Pelayo (AMCB, Q 127, Obras mayores – Fomento, exp. 871, 1903). El proyecto, realizado por el ingeniero Enrique Cardellach, presenta una de las primeras instalaciones productivas accionadas con electricidad en Barcelona724
- 15.10. Dos chimeneas: 1) Corte longitudinal y planta de la chimenea de la Auxiliar de la Industria (1853-1855) (véase también la fig. 15.1); 2) Fotografía actual de la chimenea de la antigua fábrica de muñecas Lehmann. Este segundo conjunto fabril fue proyectado en 1891 por los ingenieros Juan Vigo, B. Giol y Benito Altayó726
- 15.11. Proyecto de la Fábrica y Fundición Pro^{dad} de los Sres. Meyerhoff Her^{mos}. Situado en Las Cors [sic] de Sarriá. 1) Emplazamiento general de la fábrica, plano de los bajos y fachada principal; 2) Sección de los alzados de la instalación en el cuarto de calderas; 3) Fachada posterior / Sección por el centro del cuarto de calderas. Bajo la rasante de calderas se encuentran la caldera, hervidores y cenicero730
- 16.1. Plano de Zaragoza del *Atlas de España y posesiones de ultramar* de Francisco Coello: El *Atlas* se elaboró para ilustrar el *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España y sus posesiones de ultramar* de Pascual Madoz (1845-1850)748
- 16.2. Plano topográfico del Pla de Barcelona levantado por Ildefonso Cerdá en 1855 por encargo del gobernador civil Cirilo Franquet751

16.3. Panorama de la Puerta del Sol de Madrid antes de la reforma (Foto: Ch. Clifford, 1853. Archivo Ministerio de Fomento)	762
16.4. Proyecto de reforma de la Puerta del Sol (1859): La reforma de la Puerta del Sol es un exponente a escala española y madrileña del modelo de Haussmann en París. El proyecto reproducido es el que se llevó a la práctica, obra de los ingenieros Lucio del Valle, Juan Rivera y José Morer	763
16.5. Proyecto de viabilidad urbana y reforma de Madrid de Ildefonso Cerdá (1861): 1) Portada del proyecto de reforma; 2) Plano con el trazado. Se trata de una propuesta que no llegó a ser aprobada al no ser reconocida como encargo	766
16.6. Portada de la <i>Teoría general de la urbanización y aplicación de sus principios y doctrinas a la reforma y ensanche de Barcelona</i> , de Ildefonso Cerdá (1859)	769
16.7. Propuesta del ensanche de Barcelona de Ildefonso Cerdá (1859): La propuesta fue aprobada por el Ministerio de Fomento, mientras que el Ayuntamiento de la Ciudad Condal premiaba el proyecto más arquitectónico de Antoni Rovira. (Un plano análogo, sin la propuesta del ensanche, se reproduce en la fig. 2.15 de este mismo volumen) ...	772
16.8. Construcción de la Gran Vía: Barcelona (Arxiu Fotogràfic de l'Arxiu Històric de la ciutat)	774
16.9. Anteproyecto del ensanche de Madrid de Carlos María de Castro (1860): A diferencia del de Barcelona, la propuesta de ensanche de Castro para Madrid lo encerraba en el recinto de un foso; además, diferenciaba en él una zona aristocrática y burguesa, el barrio de Salamanca, y otra popular e industrial, al sur. Del plan de Castro solo perduraron los trazados de las calles	776
A.1. «Sala de Bibujo [sic] industrial y de proyectos, capaz para cien alumnos», del <i>Álbum de la Escuela de Ingenieros Industriales de Barcelona</i> , 1878 (v. la ilustración 6.4 del vol. v de esta misma colección; fot.: Juan Martí; adapt.: MSS)	793
A.2. Portada del álbum. Con signatura 378.6 «18» ESC, comprende doce dibujos que representan máquinas y una que describe un proyecto de riego. Las dimensiones exteriores son 47,5 × 61,0 cm (las interiores, 45,3 × 60,2). Fons Antic de la Biblioteca de l'ETSE Industrials de Barcelona (fot.: MSS)	803
A.3. Preparación e ingreso	803
A.4. Clase de proyectos	804
A.5. Lámina 1	804
A.6. Lámina 2	805
A.7. Lámina 3	805
A.8. Lámina 4	806
A.9. Lámina 5	806
A.10. Lámina 6	807
A.11. Lámina 7	807
A.12. Lámina 8	808
A.13. Lámina 9	808
A.14. Lámina 10	809
A.15. Lámina 11	809
A.16. Lámina 12	810
A.17. Lámina 13	810

ÍNDICE DE CUADROS

1.1. Principales procedimientos de formación de tecnicismos en español, ilustrados con ejemplos del léxico de la ciencia y de la técnica del Ochocientos	84
2.1. Despliegue de la serie de mapas y planos topográfico-catastrales, 1859-1869: desde el levantamiento de las hojas kilométricas hasta el mapa topográfico general. (Fuente: J. I. MURO, 2007b)	156
6.1. Las matemáticas en los planes de estudios de las academias militares, 1803-1804	307
6.2. Estudios de la Escuela Preparatoria (R. D. de 6 de noviembre de 1848)	315
6.3. Las matemáticas en los planes de estudios de enseñanza militar de ingenieros (1839) y artilleros (1840)	318
6.4. Grado de licenciado en Ciencias Físico-Matemáticas (plan de 1857)	321
6.5. Asignaturas que se habían de cursar en la Facultad de Ciencias (R. D. de 20 de septiembre de 1858)	323
6.6. Asignaturas de matemáticas en los planes de estudios de ingeniería (1859-1867)	324
6.7. Estudios de la Escuela General Preparatoria (R. D. de 11 de septiembre de 1886)	331
6.8. Materias del examen de ingreso (R. D. de 25 de mayo de 1877, junto a otras disposiciones legales del período 1875-1880)	332
6.9. Asignaturas del curso preparatorio para escuelas de ingeniería civil (1879-1886)	333
6.10. Contenidos del examen de ingreso o del plan de estudios (1892-1900)	334
6.11. Las matemáticas en los planes de estudios de las academias militares, 1875-1878	337
6.12. Producción matemática debida a autores militares en el último cuarto del siglo XIX	339
6.13. Ingenieros civiles, militares y artilleros en la modernización de la matemática española del siglo XIX: algunas obras de relevancia	341
7.1. Propuestas para la unificación de pesos y medidas (1800-1849)	352
7.2. Proyecto de unificación de pesos y medidas presentado a las Cortes por Vicente Vázquez Queipo en 1847	354
7.3. Clasificación temática de los textos sobre el sistema métrico decimal (J. V. AZNAR GARCÍA, 1997)	364
7.4. Vinculación profesional de los autores identificados y número de textos que publicaron sobre el sistema métrico decimal (J. V. AZNAR GARCÍA, 1997)	365
7.5. Lugares de edición de la bibliografía española sobre el sistema métrico decimal (J. V. AZNAR GARCÍA, 1997)	367
12.1. Comparación de rendimientos totales debida al ingeniero de la Crossley Arthur VENNELL COSTER («Marine gas propulsion in relation to imperial commerce and defence», <i>The Engineer</i> , February 15, 1907). (Fuente: R. ESTRADA Y A. MAGAZ, 1908, p. 345)	560
12.2. «Comparación de los coeficientes económicos», según G. DE VICUÑA (1872b)	564
12.3. Valores medios del coeficiente económico, admitido para las máquinas térmicas. (C. SÁNCHEZ PASTORFIDO, 1905, p. 68)	565
12.4. Distribución y relevancia de las patentes sobre máquinas térmicas en España, 1826-1914. (Fuente: reelaboración sobre la base de R. R. AMENGUAL, 2004; R. R. AMENGUAL Y P. SAIZ, 2007)	578
12.5. Patentes en España (1826-1914) sobre máquinas térmicas según el país de residencia del solicitante. (Fuente: R. R. AMENGUAL, 2004; R. R. AMENGUAL Y P. SAIZ, 2007)	579
12.6. Patentes sobre máquinas térmicas en España, 1826-1914, por residentes, según comunidades autónomas. Del total de 229 patentes existentes, para 37 se desconoce la provincia de residencia del solicitante, por lo que lo reflejado en la tabla concierne a 192 casos. (Fuente: R. R. AMENGUAL, 2004; R. R. AMENGUAL Y P. SAIZ, 2007)	580

12.7. Los principales fabricantes españoles de máquinas de vapor. (Fuente: reelaboración a partir de J. M. ^a ORTIZ-VILLAJOS, 2008, p. 181)	581
12.8. Resumen sobre las máquinas de vapor fijas construidas por La Maquinista Terrestre y Marítima. Elaborado sintetizando el cuadro 1 en J. NADAL (1999, p. 125), obtenido a su vez del <i>Libro de registro de las máquinas de vapor construidas por La Maquinista</i> ...	588
14.1. Empresas eléctricas y fecha de fundación en capitales de provincia	680
14.2. Capitales provinciales con electricidad en 1890, y año de las primeras instalaciones, permanentes o transitorias	688
14.3. Centrales eléctricas en funcionamiento en España, en 1901	693
14.4. Evolución de la potencia instalada en centrales eléctricas en España	694
16.1. Algunas disposiciones legales o hitos relevantes sobre planes urbanísticos	756

ÍNDICE

Presentación: El siglo del vapor y de la electricidad ... y de otras muchas cosas además <i>Manuel Silva Suárez</i>	7
0.I. Del saber hacer y del saber: técnicas y ciencias de la ingeniería	11
0.I.1. Del metal a la máquina de vapor y al motor de gas	12
0.I.1.1. Máquinas de vapor, termodinámica y automática	14
0.I.1.2. Con la máquina de vapor como telón de fondo: dos visiones sobre la ingeniería y la ciencia	20
0.I.1.3. Una perspectiva complementaria: la de un reputado constructor de motores de combustión interna	23
0.I.2. Del metal a la estructura: la construcción con hierro	24
0.II. La fábrica: procesos productivos, instalaciones y edificios	36
0.II.1. Breve <i>excursus</i> previo, con base lexicográfica y organizativa	38
0.II.2. De la herencia ilustrada en la arquitectura fabril	43
0.II.3. Apunte sobre la arquitectura fabril decimonónica	46
0.II.3.1. Entre pisos y naves	46
0.II.3.2. De la función y el hormigón	53
0.II.4. Ampliando sintéticamente la perspectiva: patrimonio y arqueología industrial	57
0.III. Una perspectiva del volumen	61
1. Lengua, ciencia y técnica	
<i>Cecilio Garriga Escribano y Francesc Rodríguez Ortiz</i>	81
1.I. Ideas acerca de la lengua de la ciencia y de la técnica: la formación de los tecnicismos	82
1.I.1. Las ideas sobre la lengua de la ciencia	82
1.I.2. La formación de los tecnicismos	82
1.I.2.1. Creación de un término nuevo	83
1.I.2.2. Ampliación del significado de un término ya existente	85
1.I.2.3. Préstamo de un término de otra lengua	86
1.II. El debate sobre la lengua de la ciencia y de la técnica	87
1.II.1. La Academia	87
1.II.2. Esteban de Terreros	88
1.II.3. Época de traducciones	89
1.III. El siglo XIX: primera mitad	91
1.III.1. La parálisis de la Real Academia	91
1.III.2. Los diccionarios de autor: Salvá, Domínguez, Gaspar y Roig	93
1.III.3. Un ejemplo de léxico técnico: el ferrocarril	94
1.III.4. Un segundo ejemplo de léxico técnico: la química	99
1.III.5. Un tercer ejemplo de léxico técnico: la electricidad	102

1.IV. El siglo XIX: segunda mitad	104
1.IV.1. La reacción de la Real Academia: 1884	104
1.IV.2. Los diccionarios especializados	105
1.IV.3. El <i>Diccionario General de Arquitectura é Ingeniería</i> de Clairac	108
1.IV.4. El Congreso Literario Hispano-Americano de 1892	110
1.IV.5. El <i>Diccionario Enciclopédico Hispano-Americano</i>	112
Bibliografía	113
2. Cartografía e ingeniería	121
<i>José Ignacio Muro Morales y Vicente Casals Costa</i>	121
2.I. La búsqueda de la uniformidad en el lenguaje de los mapas	122
2.I.1. El sueño racional de la uniformidad del lenguaje cartográfico	122
2.I.2. El déficit de la cartografía de base: proyectos y realidades	125
2.I.3. Un «lenguaje topográfico para todos».	
De la rectificación de la <i>Carta geográfica</i> al <i>Mapa de España</i>	128
2.I.4. Geodesia, medición del territorio y mapa topográfico	130
2.II. Las minas, los montes y el lenguaje cartográfico	133
2.II.1. En la estela de Humboldt	135
2.II.2. Medir, catalogar, representar	138
2.II.3. La ingeniería de montes y las nuevas técnicas de representación cartográfica	142
2.III. Las cartas itinerarias y la planimetría de proyectos en la ingeniería	147
2.III.1. La <i>Carta itineraria</i> y la cartografía de obras públicas	147
2.III.2. Las obras públicas y su cartografía	149
2.IV. Planos geométricos para las ciudades y el espacio rural	153
2.IV.1. Los planos de los geómetras, el catastro y la agrimensura	153
2.IV.2. Los planos para el espacio urbano	157
2.IV.3. Planimetría para el ensanche	159
2.IV.4. El interés militar en los planos de ciudades	161
2.V. Conclusiones	163
Bibliografía	165
3. El dibujo de la arquitectura y las obras públicas	171
<i>Javier Ortega Vidal</i>	171
3.I. El dibujo de la arquitectura y las obras públicas en la España de 1800	172
3.II. El dibujo en la primera mitad del siglo XIX	177
3.II.1. Los avances teóricos y las instituciones docentes específicas	177
3.II.2. Otros ámbitos de aplicación del dibujo en España	182
3.II.3. El desarrollo específico del levantamiento: el territorio, la ciudad y el patrimonio edificado	186
3.II.4. Aspectos instrumentales sobre la producción y edición del dibujo	190
3.III. El dibujo en la segunda mitad del siglo XIX	192
3.III.1. Evolución de las instituciones: el dibujo, entre la formación, las atribuciones y las publicaciones	193

3.III.2. El nuevo marco del urbanismo	197
3.III.3. Los nuevos temas y materiales	201
3.III.4. El registro gráfico y la intervención en el patrimonio	203
3.III.5. Las técnicas y los recursos del dibujo al final del siglo	206
Bibliografía	210
4. El dibujo de máquinas: sistematización de un lenguaje gráfico	
<i>Patricia Zulueta Pérez</i>	213
4.I. Una aproximación al análisis gráfico: el dibujo de máquinas	214
4.II. Antecedentes en la representación	215
4.III. Apuntes sobre el dibujo de máquinas en el siglo XIX	218
4.IV. La nueva sistematización geométrica	219
4.IV.1. La geometría reglamentada por Monge	220
4.IV.2. Las perspectivas paralelas	223
4.IV.3. El uso de la sombra	227
4.V. La codificación de los aspectos formales	229
4.V.1. La visión del interior de las máquinas	230
4.V.2. La autoridad de la línea y la utilización del color en los planos y dibujos. Las texturas gráficas	232
4.V.3. Presencia del lenguaje alfanumérico. El proceso de acotación	236
4.V.4. Representación de elementos mecánicos: de la esquematización a la normalización	239
4.VI. Las técnicas gráficas y los medios materiales	242
4.VII. Consideraciones finales	247
Bibliografía	250
5. Debates sobre el papel de las matemáticas en la formación de los ingenieros civiles decimonónicos	
<i>Guillermo Lusa Monforte</i>	255
5.I. Las matemáticas como pretexto en la lucha por la hegemonía: Los ingenieros de Caminos	257
5.I.1. Los ingenieros de Caminos defienden la autosuficiencia científica de la Escuela	258
5.I.2. Polémicas finiseculares sobre el examen de ingreso	263
5.II. Las matemáticas como indicador para determinar el equilibrio entre el «teoricismo» y el «practicismo»: Los ingenieros industriales	267
5.III. Algunos debates en la arquitectura y en otros campos de la ingeniería	271
5.III.1. En torno al papel de las matemáticas en la formación de los arquitectos	271
5.III.2. La formación matemática de los ingenieros de Montes	273
5.III.3. Ingeniería de Minas: escasos pronunciamientos sobre política educativa	276
5.III.4. Las matemáticas y los telegrafistas	278
5.IV. Nuevo siglo: debate universal acerca de la formación matemática del ingeniero	280
5.IV.1. Artículos en la <i>ROP</i> y conferencias en el Instituto de Ingenieros Civiles	282

5.IV.1.1. Gaztelu: las matemáticas para aprender a mandar	283
5.IV.1.2. Machimbarrena: «¡Basta de matemáticas!»	287
5.IV.2. La polémica de José Serrat Bonastre con José de Igual (1908)	289
5.IV.3. Cierre con siete llaves al sepulcro de la Polytechnique: el discurso de André Pelletan	293
Bibliografía	296
6. La formación matemática en la ingeniería	
<i>Fernando Vea Muniesa y M.^a Ángeles Velamazán Gimeno</i>	299
6.I. El primer tercio del siglo XIX (1800-1833)	302
6.I.1. Las matemáticas en la universidad	302
6.I.2. Las matemáticas en la formación técnica	304
6.I.3. Las matemáticas en las academias militares	306
6.II. Los liberales llegan al poder (1833-1857)	311
6.II.1. Las matemáticas en la universidad	311
6.II.2. Las matemáticas en la formación de los ingenieros	312
6.II.3. Las matemáticas en las academias militares	317
6.III. De la Ley Moyano a la Restauración (1857-1874)	320
6.III.1. La Facultad de Ciencias	320
6.III.2. La formación matemática de los ingenieros	323
6.III.3. Las matemáticas en las academias militares	328
6.IV. La Restauración borbónica (1874-1900)	330
6.IV.1. Las matemáticas en la Facultad de Ciencias	330
6.IV.2. La formación matemática de los ingenieros	331
6.IV.3. Las matemáticas en las academias militares	336
6.V. A modo de conclusión	339
Bibliografía	342
7. La unificación de los pesos y medidas. El sistema métrico decimal	
<i>José Vicente Aznar García</i>	345
7.I. Una nueva medida universal	345
7.II. La unificación de los pesos y medidas de 1801	347
7.III. Las etapas	349
7.IV. Las propuestas para la unificación	350
7.V. La Ley de Pesos y Medidas de 19 de julio de 1849	355
7.VI. La Comisión de Pesos y Medidas	358
7.VII. Los primeros aplazamientos y el problema de la industria metrológica	361
7.VIII. La polémica sobre el sistema métrico decimal	362
7.IX. La enseñanza de los nuevos pesos y medidas	364
7.X. Una nueva época para el sistema métrico decimal	366
7.XI. El sistema métrico decimal, obligatorio en España	370
7.XII. El Decreto de 14 de febrero de 1879 y el impulso definitivo	373
7.XIII. Las nuevas definiciones del metro	375
Bibliografía	377

8. Mecánica de medios continuos y teoría de estructuras	
<i>Alberto Fraile y Enrique Alarcón</i>	381
8.I. La herencia histórica	384
8.II. La evolución en Europa	388
8.III. El caso español	391
Bibliografía	409
9. La construcción y los materiales metálicos	
<i>Javier Manterola Armisén</i>	415
9.I. Materiales resistentes	416
9.I.1. Tres modalidades de productos siderúrgicos: la fundición, el hierro dulce o maleable y el acero	416
9.I.2. Apunte sobre precios y perfiles de los materiales metálicos	417
9.I.3. Los cerramientos de vidrio	418
9.II. Teorías y conocimientos científicos	419
9.III. Estética	426
9.IV. Ejemplos españoles	430
9.IV.1. Estaciones de ferrocarril	430
9.IV.2. Mercados	436
9.IV.2.1. Mercados de Madrid	436
9.IV.2.2. Mercados de Barcelona	439
9.IV.2.3. Mercado de Valencia	443
9.IV.3. Grandes invernaderos: El Palacio de Cristal	444
9.IV.4. Faros	448
9.V. Algunas consideraciones finales	449
Bibliografía	450
10. Los puentes: materiales, estructuras y patrimonio	
<i>Leonardo Fernández Troyano y Amaya Sáenz Sanz</i>	451
10.I. El mundo de los puentes en el siglo XIX	451
10.II. Los puentes de piedra y de madera	458
10.II.1. Puentes de piedra	458
10.II.2. Puentes de madera	463
10.III. Los puentes colgantes	466
10.IV. Los puentes metálicos	480
10.IV.1. Puentes arco metálicos	480
10.IV.2. Puentes viga metálicos	487
Bibliografía	497
11. La teoría de máquinas y mecanismos: desarrollo y difusión de una nueva ciencia	
<i>Juan Ignacio Cuadrado Iglesias y Emilio Bautista Paz</i>	499
11.I. La ciencia de las máquinas y su lenguaje	499
11.II. El desarrollo de la ciencia de las máquinas	501
11.II.1. La teoría de máquinas	504
11.II.1.1. Las máquinas en movimiento	505

11.II.1.2.	La transmisión de energía	506
11.II.1.3.	Las partes de la máquina	507
11.II.1.4.	La comparación entre los efectos de las máquinas: el trabajo	507
11.II.1.5.	La moneda mecánica	509
11.II.1.6.	La complejidad del mundo real: la mecánica aplicada	509
11.II.1.7.	La mecánica experimental	510
11.II.1.8.	La mecánica industrial	511
11.II.2.	La teoría de mecanismos	511
11.II.2.1.	La selección de mecanismos	512
11.II.2.2.	La importancia de la geometría	513
11.II.3.	La construcción de máquinas	514
11.II.4.	La creación de una ciencia de las máquinas y su evolución hasta el final del siglo	515
11.II.4.1.	La teoría de máquinas y mecanismos	516
11.II.4.2.	La síntesis de mecanismos	516
11.II.4.3.	Los nuevos métodos pedagógicos	517
11.II.4.4.	Hacia la universalización	517
11.III.	La ciencia de las máquinas en España	517
11.III.1.	Los protagonistas	518
11.III.2.	La formación	534
11.III.3.	Las referencias bibliográficas	537
11.IV.	Conclusiones	538
	Tratados de referencia	538
	Referencias bibliográficas	541

12. De vapor y de gas: perspectivas sobre los motores de combustión

	<i>Manuel Silva Suárez</i>	543
12.I.	Un intento de perspectiva dual: de libros e innovación	544
12.II.	Los motores térmicos en los textos españoles	547
12.II.1.	Los textos de la Marina	548
12.II.2.	Textos de máquinas térmicas y termodinámica	561
12.II.3.	Otras monografías	567
12.II.4.	Las máquinas térmicas en obras de más amplio espectro	571
12.III.	Entre inventores y constructores	576
12.III.1.	Aproximación cuantitativa preliminar	577
12.III.2.	Las máquinas de vapor alternativas	580
12.III.2.1.	Los cuatro grandes, patentes y otros ingredientes	580
12.III.2.2.	Otros constructores	590
12.III.3.	Las máquinas de vapor rotativas: precedentes de las turbomáquinas ..	596
12.III.4.	Los motores de aire caliente	598
12.III.5.	Los motores de combustión interna	602
12.III.5.1.	Sin compresión previa	602
12.III.5.2.	Con compresión previa	604
12.IV.	A modo de conclusión	613
	Bibliografía	616

13. La termodinámica: las definiciones de una nueva disciplina científica desde la física matemática	
<i>Stefan Pohl Valero</i>	621
13.I. La debilidad institucional de la física teórica y aplicada	624
13.II. La «categoría» teórica de la termodinámica	630
13.III. La enseñanza de la termodinámica	640
Bibliografía	646
14. La introducción de la técnica eléctrica	
<i>Joan Carles Alayo i Manubens y Jesús Sánchez Miñana</i>	649
14.I. Las primeras aplicaciones: electroterapia, galvanoplastia y voladuras	650
14.II. Arco voltaico: el asombro de la luz eléctrica	656
14.III. Un gran avance: los generadores rotatorios	660
14.IV. La división de la luz eléctrica	667
14.V. Las primeras fábricas de luz	672
14.VI. La electricidad se extiende	678
14.VII. La tecnología eléctrica de finales del siglo XIX	683
14.VIII. España se electrifica	686
14.IX. Conclusión	694
Bibliografía	695
15. La construcción de los espacios industriales: el caso de Barcelona	
<i>Mercedes Tatjer</i>	697
15.I. Fábricas, redes territoriales y paisaje	698
15.I.1. El paisaje industrial	698
15.I.2. Permanencia y transformación de los espacios fabriles	700
15.II. La fábrica como objeto de proyectación y de estudio	701
15.III. Las diversas tipologías de los espacios fabriles	707
15.III.1. Los grandes recintos industriales barceloneses	707
15.III.2. Las fábricas	718
15.III.3. Las naves y otros pequeños conjuntos fabriles	724
15.IV. Los ingenieros en las fábricas barcelonesas	727
15.IV.1. La organización y la dirección técnica de los espacios fabriles	727
15.IV.2. Los ingenieros industriales en la instalación de sistemas energéticos	729
15.V. Conclusiones	732
Bibliografía	733
16. La ciudad: teoría y prácticas en la construcción de la ciudad burguesa	
<i>Josefina Gómez Mendoza</i>	741
16.I. Precocidad y singularidad de la teoría urbana española del Ochocientos	741
16.II. Los técnicos en la ciudad	745
16.II.1. Cartografiar la ciudad para ordenarla: de la tira de cuerdas al plan de remodelación	745

16.II.2.	El enfrentamiento entre arquitectos e ingenieros civiles, trasunto de la competencia entre los ministerios de Gobernación y Fomento, pero no solo	752
16.III.	La reforma interior de las ciudades: razones, doctrinas y bloqueos	757
16.III.1.	La Junta Consultiva de Policía Urbana: bases del urbanismo y respeto de las condiciones locales	757
16.III.2.	La reforma de la Puerta del Sol: obra tutelada por el Gobierno y triunfo del urbanismo de la circulación en la ciudad burguesa	760
16.IV.	El urbanismo de ensanche	764
16.IV.1.	Las bases teóricas: circulación e higiene e interés general	764
16.IV.2.	Los ensanches: analogías y diferencias. Desvirtuación de los mecanismos	770
16.V.	Los problemas de la ciudad finisecular	777
16.V.1.	El retorno a la reforma interior y los problemas de saneamiento	777
16.V.2.	La Junta Consultiva de Urbanización y Obras y la situación urbana finisecular según los técnicos municipales	779
	Bibliografía	784
Anexo: Un álbum de dibujos de máquinas presentado en la Exposición Universal de Viena de 1873		
	<i>Guillermo Lusa Monforte y Manuel Silva Suárez</i>	789
A.I.	Las exposiciones internacionales y la Escuela en esas décadas	790
A.II.	El profesor y los alumnos que elaboraron el álbum	792
A.III.	El Álbum	794
A.III.1.	«Los tipos de motores adoptados por las principales casas constructoras de Cataluña»	794
A.III.2.	«Copiados del natural por los alumnos de la clase de proyectos»	798
	Transcripciones	801
	Índice de ilustraciones	811
	Índice de cuadros	823

