



M.^a JOSÉ SÁEZ BONDÍA, M.^a JOSÉ GIL QUÍLEZ,
M.^a BEGOÑA MARTÍNEZ PEÑA Y JOSÉ CARRASQUER ZAMORA

LAS TRES LETRAS DE RÍO

FUNDAMENTOS Y RECURSOS PARA TRABAJAR EN EL AULA



M.^a JOSÉ SÁEZ BONDÍA, M.^a JOSÉ GIL QUÍLEZ,
M.^a BEGOÑA MARTÍNEZ PEÑA Y JOSÉ CARRASQUER ZAMORA

Las tres letras de RÍO

Fundamentos y recursos
para trabajar en el aula

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

GRUPO BEAGLE, *Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales*

IUCA, *Instituto Universitario de Investigación de Ciencias Ambientales de Aragón*

- © M.^a José Sáez Bondía, M.^a José Gil Quílez, M.^a Begoña Martínez Peña y José Carrasquer Zamora
- © De la presente edición, Prensas de la Universidad de Zaragoza (Vicerrectorado de Cultura y Proyección Social)
1.^a edición, 2021

Prensas de la Universidad de Zaragoza. Edificio de Ciencias Geológicas, c/ Pedro Cerbuna, 12
50009 Zaragoza, España. Tel.: 976 761 330
puz@unizar.es <http://puz.unizar.es>



Esta editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional.

ISBN: 978-84-1340-337-3

Impreso en España

Imprime: Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza

D.L.: Z 1576-2021

PRÓLOGO

Representativo, Integrador y Observable, con las tres letras del río que presentan este libro hemos querido sintetizar el potencial didáctico que tiene trabajar en y sobre los ecosistemas fluviales. Podríamos haber puesto el foco en otros temas, pero hemos elegido los ríos porque, en nuestra tierra, es fácil acceder a ellos desde prácticamente cualquier localidad, permiten un acercamiento a los ecosistemas fluviales, a fenómenos naturales y están asociados a temas con una gran repercusión en el ámbito social. Y además porque nos gustan los ríos...

Como miembros del *Grupo Beagle. Investigación en Didáctica de las Ciencias Naturales*, nos une la certeza de que en la enseñanza y el aprendizaje de las Ciencias Naturales tiene que haber contacto directo con el medio. El alumnado debe salir al campo, o a un parque, para poder observar, preguntarse, describir, interpretar y finalmente ser capaz de predecir y hacer generalizaciones sobre determinados fenómenos naturales. Este contacto con el medio debe capacitarlo para desarrollar un pensamiento sistémico sobre las cuestiones ambientales y asimismo desarrollar actitudes positivas hacia el mismo.

Durante toda nuestra trayectoria profesional, trabajando principalmente con maestros en formación, hemos tenido siempre presentes las salidas al campo, lo que inicialmente resultó bastante complejo. Estamos hablando de principios de los años ochenta del siglo pasado, cuando en las

antiguas Escuelas de Formación del Profesorado no había tradición, ni financiación, para salir de excursión con los alumnos. Este libro es una muestra de las actividades realizadas con el alumnado, no solo de Magisterio, sino también de otras etapas educativas, en torno al río, fruto de la experiencia de numerosos años a través de proyectos y colaboraciones de diversa índole con diferentes centros educativos. Asimismo, las actividades que proponemos se fundamentan en los primeros capítulos, tanto didáctica como conceptualmente.

Este libro va dirigido a profesores y maestros¹ en particular, y a todos los interesados por la naturaleza de los ecosistemas fluviales. Esperamos que les sea de utilidad para comprender y valorar el papel de los ríos.

Son muchas las personas que nos han ayudado, inspirado y enseñado durante nuestras actividades y experiencias en el ecosistema fluvial pero queremos dedicar este libro a Berta Cáceres, asesinada el 3 de marzo de 2016, fue una de las fundadoras en 1993 del Consejo Cívico de Organizaciones Indígenas y Populares de Honduras (COPINH) y lideró la oposición al proyecto hidroeléctrico de Agua Zarca que afectaba a varios ríos en el departamento de Intibucá, entre ellos el río Gualcarque, considerado como «sagrado» para las comunidades indígenas y vital para su supervivencia.

1 A lo largo del texto se ha tratado de aligerar la lectura, por lo que se emplean generalmente sustantivos sin distinción de géneros.

1.

PRESENTACIÓN

La multitud trabada de los ríos recorre la tierra como las venas van llevando el calor y la energía al cuerpo de los hombres. El aspecto conjunto de los ríos en los mapas es semejante —hasta en la forma— a los esquemas de circulación de nuestra sangre, que cuelgan de los muros de nuestras clases de anatomía. Y el agua también lleva la vida a los laboratorios y a las ciudades; a los árboles y a los hombres.

(Herrera, 1957, p. 19)

El río, un sistema complejo, dinámico, cambiante, imprescindible para la vida, con un papel importante en la historia de las civilizaciones como, por ejemplo, el Tigris, Éufrates, Ebro o Guadalquivir. Pero también con un papel controvertido, ya que su gestión está sometida a debate desde diferentes perspectivas (política, social, ambiental, entre otras). Estas características, muchas veces ocultas o compartimentadas en los libros de texto, hacen que un recurso tan próximo para todos, sea poco aprovechado en las aulas (Ibarra, 2000).

El río es Representativo, Integrador y Observable, palabras que permiten definirlo desde la perspectiva didáctica. De este modo, la propia palabra RÍO, nos permite resumir mucho lo que aporta (o podría aportar) a las clases de Ciencias (figura 1), evitando la generación de cajones estancos donde, por un lado, se aborda el agua, por otro las relaciones tróficas de los ecosistemas fluviales, por otro, los ciclos de la materia y, por otro, la acción geológica o la dinámica fluvial (Ibarra, 2007) y muchas veces se olvidan las cuestiones sociocientíficas.

R epresentativo	<ul style="list-style-type: none">– Incluye un amplio rango de contenidos presentes en los currículos de Ciencias Naturales.– Permite la construcción de modelos desde diferentes perspectivas.
I ntegrador	<ul style="list-style-type: none">– Favorece el establecimiento de relaciones entre todos sus componentes a diferentes escalas, fomentando el desarrollo de un pensamiento sistémico.– Predispone a la realización de predicciones.
O bservable	<ul style="list-style-type: none">– Permite la realización de salidas al medio natural próximo.– Es un tema cotidiano, favorece el aprendizaje en contexto, fomentado el uso de la argumentación y el pensamiento crítico.

Figura 1. El río como acrónimo desde la perspectiva didáctica.

1.1. Representativo

El aprendizaje en torno al río constituye una representación de muchos contenidos incluidos en los currículos de Ciencias de la Naturaleza (ecosistemas, ciclos de materia y flujos de energía, el agua) y Ciencias Sociales (que actualmente incluye contenidos de geología como los minerales, las rocas y el ciclo del agua, además de las principales cuencas hidrográficas y su localización). Supone un contexto ideal para favorecer la construcción de modelos (Nebot, 2015), ya que permite la exteriorización de las ideas de los estudiantes sobre el río (los elementos que componen el sistema río, las relaciones entre ellos, sus cambios), su autoevaluación y reconstrucción progresiva hacia modelos más complejos y acordes con lo aceptado actualmente desde la comunidad científica.

Los modelos son representaciones mentales derivadas de una interacción entre la realidad y la teoría, que permiten simplificar fenómenos complejos, ayudan a visualizar aspectos que son abstractos, a elaborar explicaciones o a hacer predicciones (Justi, 2006). Pueden tomar diferentes modos de «exteriorización» (Gilbert, 2004):

- 1) Verbal o escrita, a través de la descripción de los elementos que componen el modelo y sus relaciones.
- 2) Concreta (o material), con el uso de materiales tridimensionales como puede ser una maqueta.
- 3) Simbólica, a través del uso de símbolos o fórmulas como la del balance hídrico.
- 4) Visual, con el uso de diagramas, imágenes o representaciones gráficas en dos dimensiones como la representación de la red trófica de un ecosistema de ribera.
- 5) Gestual, a través del uso de partes del cuerpo y dramatizaciones.

En términos generales, el modelo de río puede ser delimitado atendiendo a su estructura y a los procesos que tienen lugar en él, así como a las interacciones entre los elementos que lo componen. De este modo, el sistema fluvial puede desglosarse en cuatro dimensiones, las tres espaciales y la temporal (figura 2), propuestas por Amoros y Petts en 1993 y citadas por Ollero (2007):

- 1) Longitudinal, correspondiente al trayecto de las corrientes hídricas.
- 2) Transversal, englobando la llanura de inundación y los ecosistemas fluviales y terrestres.

- 3) Vertical, la estructura en profundidad, incluyendo los materiales litológicos que lo conforman y el acuífero fluvial.
- 4) Temporal, cambios en el clima, biológicos o geológicos producidos por el propio curso del río o la acción humana, a lo largo del tiempo.

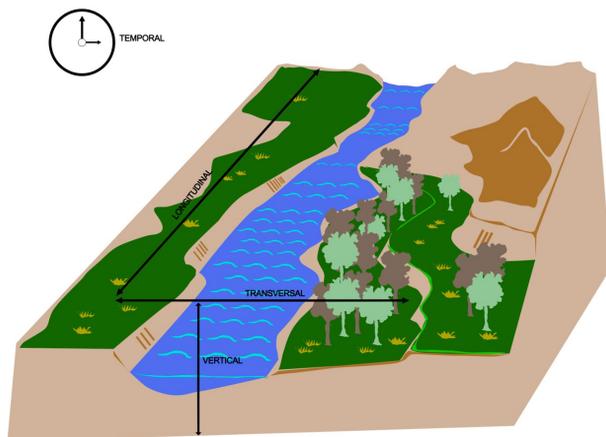


Figura 2. Esquema de las tres dimensiones espaciales del río junto con la temporal (ilustración de Á. Álvarez).

Son numerosos los elementos que componen este modelo dinámico en el que hay flujo de entradas y salidas continuo y constantes interacciones y, que además, son cambiantes en el tiempo. La figura 3 muestra una representación del modelo de río y los elementos que se pueden considerar en un punto concreto del mismo, así como las interacciones que pueden tener lugar en esa zona y la influencia de puntos longitudinalmente anteriores y posteriores (en mayor medida de aguas arriba, pero también desde aguas abajo).

El clima, la cubierta vegetal o los usos del agua, aguas arriba, tienen una influencia sobre el punto concreto del río, donde, a su vez, se establece una red entramada de relaciones entre los ecosistemas, las acciones del ser humano, las variaciones en el caudal o la propia geología de la cuenca (Ollero, 2007). Asimismo, desde esta perspectiva global, se pueden delimi-

tar las interacciones a diferentes niveles escalares, desde un punto de vista macroscópico (cuenca, relieve...), mesoscópico (bosque de ribera, meandros...) o microscópico (macroinvertebrados presentes en el agua, tipos de sedimentos, composición química...), constituyendo un sistema complejo (Martínez Peña y Gil Quílez, 2014).

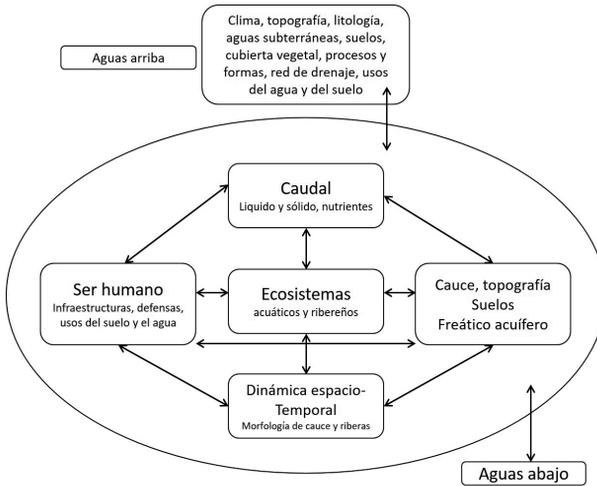


Figura 3. Representación del modelo de río desde un punto concreto del mismo (adaptada de Ollero, 2002).

El uso de modelos en las clases de Ciencias, que se hacen explícitos a través de representaciones de los mismos, constituye una estrategia didáctica útil, ya que ayuda a la construcción de conocimientos compartidos dentro del aula (Acher, 2014). Además, si ese modelo se trabaja a través de diferentes «exteriorizaciones» parece favorecer el aprendizaje de un modo eficiente (Oh y Oh, 2011).

Existe un amplio consenso en que es necesaria la puesta en marcha de actividades de modelización para aprender a construir modelos. De este modo se da la oportunidad a los estudiantes de participar en actividades donde construyen, evalúan, revisan y usan los modelos construidos, implicándolos en el proceso de construcción de un «saber científico» y en el «desarrollo de un pensamiento científico y crítico».

Para el desarrollo de actividades de modelización, se propone la utilización de experiencias que seleccionen aspectos de la realidad (como las salidas de campo) y que relacionen el objeto a modelizar, la exteriorización de ese modelo (de las construcciones mentales de los estudiantes mediante las diferentes formas de representación de modelos) y la declaración de las limitaciones del mismo. Se trata de un proceso no lineal, donde constantemente se ponen a prueba las ideas de los estudiantes (Justi, 2006).

No cabe duda de la «representatividad» del río desde su enseñanza y aprendizaje, donde además de estar presente en los contenidos curriculares actuales, se trata de un objeto que permite emplear múltiples representaciones que ayuden a explicar los fenómenos biológicos, geológicos y socioecológicos que tienen lugar en él, pudiendo favorecer el aprendizaje de modelos progresivamente más complejos.

1.2. Integrador

La palabra *integrador* hace referencia a algo que incluye las partes que conforman o resumen un conjunto. El río, por tanto, puede considerarse un sistema integrador que permite explicar muchos fenómenos presentes en el medio natural.

Un sistema es un grupo organizado de objetos o componentes relacionados de tal forma que constituyen un todo. Los sistemas tienen límites (generalmente poco nítidos), componentes, recursos, flujos y retroalimentaciones. Dada la complejidad del mismo, para poder abordar el sistema objeto de estudio, inicialmente se establecen límites artificiales entre el sistema y el «resto». Es más, en muchas ocasiones ese sistema puede ser dividido en subsistemas, siendo considerados inicialmente como sistemas a pequeña escala (NRC, National Research Council, 2012).

A modo de ejemplo, en el caso del río podemos considerar como subsistema el ecosistema de ribera, examinando los seres vivos que lo componen, los factores abióticos que son fundamentales para la comprensión de su funcionamiento y las relaciones que se establecen entre ellos. Posteriormente, ampliar los límites a los efectos de un cambio externo a este subsistema (por ejemplo, una riada) y cómo afecta al resto de los subsistemas en los que se ha descompuesto el ecosistema de ribera (por ejemplo, sobre la población próxima o sobre el cauce del río).

De este modo, de nuevo, trabajar a través de la elaboración de modelos puede ser una buena estrategia de construcción de conocimientos y de incremento en la complejidad del sistema a estudiar, pudiendo ser ampliado a diferentes escalas que permitan la reestructuración de explicaciones sobre determinados fenómenos y la realización de predicciones ante determinados cambios en el sistema (NRC, 2012). No obstante, para integrar todo ello es necesario que los estudiantes desarrollen habilidades que les permitan pensar desde una perspectiva sistémica (Riess y Mischo, 2010).

Para Arnold y Wade (2015, p. 675) el pensamiento sistémico es:

[...] un conjunto de habilidades analíticas sinérgicas utilizadas para mejorar la capacidad de identificar y comprender los sistemas, predecir sus comportamientos e idear modificaciones en ellos para producir el efecto deseado. Estas habilidades trabajan en un conjunto del mismo modo que lo hace el propio sistema.

Atendiendo a estos autores (figura 4) el pensamiento sistémico puede resumirse en una serie de fases interrelacionadas que comienzan con la comprensión de la estructura del sistema (fase A). Este primer paso supone la identificación de los componentes del sistema y, por tanto, el previo establecimiento de límites en este, suponiendo el primer punto en el desarrollo, desde una visión jerárquica, del pensamiento sistémico (Assaraf y Orion, 2010).

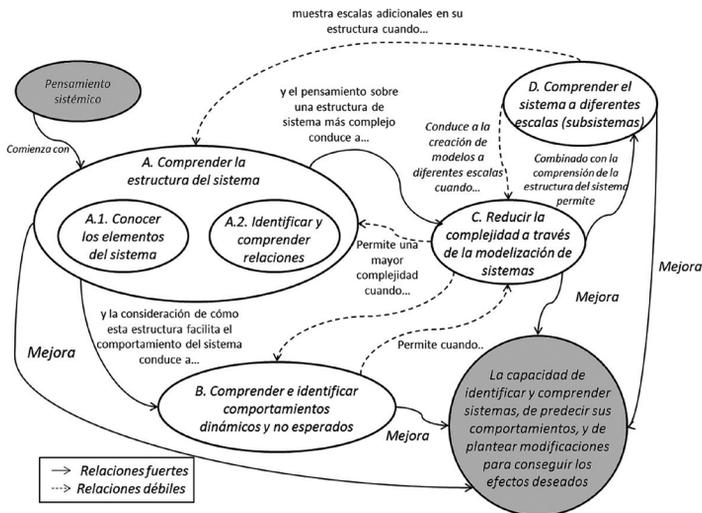


Figura 4. Diagrama del pensamiento sistémico y sus etapas (adaptado de Arnold y Wade, 2015).



Figura 5. Riberas de los ríos Turia y Guadalaviar en la provincia de Teruel: ¿cómo se verían afectadas las riberas por la construcción de un azud?

A continuación los elementos identificados dentro de la fase A, en A.1, se combinan en forma de relaciones causa-efecto en las que pueden existir bucles de retroalimentación. Identificar y comprender esos bucles y su impacto sobre el sistema es otro de los componentes del pensamiento sistémico que, en su conjunto, permiten comprender la estructura del sistema (A.2). Este segundo punto es entendido por Assaraf y Orion (2005) como un nivel de pensamiento superior al anterior donde se resumen los componentes del sistema. Es decir, supone la identificación de elementos del sistema, para, posteriormente, relacionarlos entre sí. En el caso del río se podría tomar como referencia en estos primeros pasos la representación realizada en la figura 2 (sobre un punto concreto del río), donde se han identificado los elementos a escala macroscópica que componen el sistema (caudal, ecosistemas, actuaciones humanas...) y las posibles relaciones entre ellos.

Una vez identificada la estructura del sistema, el siguiente paso es diferenciar las variables que se ven afectadas por los flujos o cambios del sistema (fase B). Por ejemplo, ¿qué elementos se ven afectados por un largo periodo de sequía?; o ¿por una avenida? ¿por la construcción de un embalse?; o ¿por la construcción de un azud? (figura 5). En su conjunto permiten comprender el comportamiento dinámico del sistema y sus posibles comportamientos emergentes o no esperados *a priori*.

La interrelación de las fases A y B favorece el establecimiento de predicciones y de generalizaciones. Estas pueden permitir resolver problemas basados en la comprensión de los mecanismos que tienen lugar en el sistema

(Assaraff y Orion, 2010). A esta idea, señalada en gris en la figura 4, Arnold y Wade (2015) añaden la necesidad de reducir esa complejidad a través de la modelización (fase C), aspecto que Assaraff y Orion (2005 y 2010) plantean en sus trabajos a través de la realización de representaciones gráficas o verbales (por ejemplo, con la construcción de un diagrama que represente una red de variaciones atendiendo a un determinado cambio). No obstante, tal y como se ha comentado en el apartado anterior, el objeto a modelizar se delimita por el fenómeno a estudiar y este puede ser visto a diferentes escalas (Martínez Peña y Gil Quílez, 2014).

Desde la perspectiva escalar (fase D), Knippels (2002) propone la estrategia yo-yo. Esta plantea el estudio de fenómenos complejos atendiendo a los niveles de organización, analizando nivel a nivel las interrelaciones para, posteriormente, «subir y bajar» en los diferentes niveles estableciendo relaciones de nuevo (tabla 1). Esta estrategia sistémica permite incrementar la complejidad del sistema objeto de estudio (Arnold y Wade, 2015).

En la tabla 1, se ejemplifica, mediante situaciones concretas, posibles elementos a considerar y que pueden ser explorados por parte de los estudiantes, según Assaraff y Orion (2005). Relacionan sus ejemplos con las etapas de la figura 4, identificando tres niveles de desarrollo del pensamiento sistémico de los estudiantes: etapa A1 con nivel 1; etapa A2 con nivel 2; y etapa B con nivel 3. En este último nivel consideran el resto de componentes relacionados con la síntesis de los elementos del sistema, incluyendo no solo las relaciones dinámicas, sino las relaciones escondidas del sistema (o no consideradas inicialmente). Asimismo, en la tabla 2 se muestran ejemplos trasladados al aprendizaje del río de las etapas C y D contemplados por Arnold y Wade (2015).

El modelo de río, visto desde sus diferentes escalas, puesto de manifiesto en la figura 4, etapa D, también puede enfocarse desde la perspectiva de «subidas y bajadas» a diferentes niveles dentro de cada subsistema que lo compone. La complejidad de este modelo dinámico puede plantearse atendiendo a la dimensión longitudinal del curso del río (pensando en varios puntos a lo largo de su recorrido), a su dimensión transversal o a su dimensión temporal, entre otras (Ollero, 2007). En definitiva, las propuestas de integración de conocimientos y, por tanto, de estrategias y actividades que favorezcan el pensamiento sistémico en los estudiantes en torno al río son numerosas. La figura 6 muestra un ejemplo de niveles escalares que se pueden considerar a la hora de plantear actividades.

TABLA 1
PENSAMIENTO SISTÉMICO EN TORNO AL RÍO.
ALGUNOS EJEMPLOS Y CUESTIONES

<i>Etapas</i> (Arnold y Wade, 2015)	<i>Niveles</i> (Assaraff y Orion, 2005)	<i>Ejemplos sobre el río</i>	<i>Cuestiones relacionadas</i>
A. Comprender la estructura del sistema	A.1. Nivel 1: Conocer los elementos del sistema	Si observamos un punto concreto del río podemos considerar diferentes componentes: Los ecosistemas (tanto acuático como de ribera), el cauce (su anchura, su profundidad, el tipo de sedimentos que contiene), el caudal (cantidad de agua que circula por el cauce), la presencia de infraestructuras próximas (embalses, canalizaciones.), la forma de las orillas y las características de la zona de inundación.	¿Cuántas especies de árboles y arbustos diferentes observamos? ¿Qué organismos encontramos en el agua? ¿Qué tipo de cantos rodados encontramos en este tramo del río?
	A.2. Nivel 2: Identificación de relaciones simples y retroalimentaciones	Relaciones simples: El caudal transporta sedimentos que aportan nutrientes a los ecosistemas acuáticos y de ribera. Los canales (acción humana) reducen el caudal del río. Organización de las relaciones (retroalimentaciones): La presencia de vegetación en el ecosistema de ribera aporta nutrientes al ecosistema acuático, lo que favorece el mantenimiento de los organismos acuáticos que, a su vez, sirven de alimento para los animales del ecosistema ripario (retroalimentación positiva)	Elabora una red trófica del ecosistema fluvial. ¿Qué relación existe entre los seres vivos de los ecosistemas acuático y ripario?
B. Comprender comportamientos dinámicos	B. Nivel 3. Síntesis y aplicación.	Una riada supone un incremento del caudal. A mayor caudal, mayor energía del flujo de agua y mayor transporte de sedimentos, pudiendo afectar a la morfología del cauce y sus riberas (posible erosión). A mayor porcentaje de cobertura vegetal en el bosque de ribera, hay una reducción de la escorrentía superficial, lo que supone menor arrastre de sedimentos y menor erosión de las orillas, aspecto que no sucede si el bosque de ribera tiene poca vegetación.	¿Cómo afectará al sistema río una riada? Y ¿una sequía prolongada? ¿Qué pasará si se introduce el Ailanto en los ecosistemas riparios? 0 ¿si coloniza las aguas la <i>Azolla filiculoides</i> ?

TABLA 2
PENSAMIENTO SISTÉMICO EN TORNO AL RÍO.
ALGUNOS EJEMPLOS PARA LAS ETAPAS C Y D

<i>Etapas (Arnold y Wade, 2015)</i>	<i>Ejemplos sobre el río</i>	<i>Cuestiones relacionadas</i>
C. Reducir la complejidad a través de la modelización de sistemas	La construcción de maquetas o realización de dibujos que ayuden a representar procesos dinámicos de río, la elaboración de redes tróficas de los organismos presentes en el ecosistema ripario o la representación de una cadena para evaluar la posible relación entre los árboles presentes en la ribera y sus necesidades, son ejemplos de exteriorización de modelos que permiten describir y explicar fenómenos o hacer predicciones sobre posibles cambios dentro del sistema río. Y que ayudan a reducir la complejidad del mismo.	Refleja en las maquetas las diferencias entre las dos orillas del río, o las diferencias entre diferentes puntos del río y las posibles respuestas de esas orillas a acontecimientos como avenidas o riadas. Representa el trayecto que lleva el agua desde el río hasta que llega a tu casa.
D. Comparar el sistema a diferentes escalas	Los macroinvertebrados acuáticos nos permiten estimar la calidad de las aguas de un río. Son indicadores indirectos que permiten evaluar el ecosistema fluvial a escala microscópica para su traslado a aspectos macroscópicos. Por ejemplo, la presencia o ausencia de determinados macroinvertebrados en determinados tramos de un río puede ser debido a los vertidos industriales aguas arriba del río.	¿Qué se puede decir de la calidad de este ecosistema fluvial a partir de los macroinvertebrados que viven en sus aguas? ¿Qué inferencias podemos hacer sobre las causas de la presencia o ausencia de determinados macroinvertebrados en puntos concretos del río?

Partiendo del modelo de río desde un punto de vista longitudinal se pueden observar diferencias e interacciones entre tres puntos concretos (figura 6a) o el número que se establezca. Así, podemos tomar como objeto de estudio un punto concreto del mismo (figura 6b), donde existen interacciones entre diferentes elementos y donde, a su vez, se puede centrar la atención, por ejemplo, en las características del ecosistema fluvial. Este se puede descomponer en dos subsistemas: acuático y de ribera, tal y como se observa en la figura 6c. De este modo, de una visión macroscópica (figuras 6a y 6b), se pasa a una visión mesoscópica (figura 6c) pudiendo profundizar en niveles escalares inferiores (por ejemplo, los microorganismos

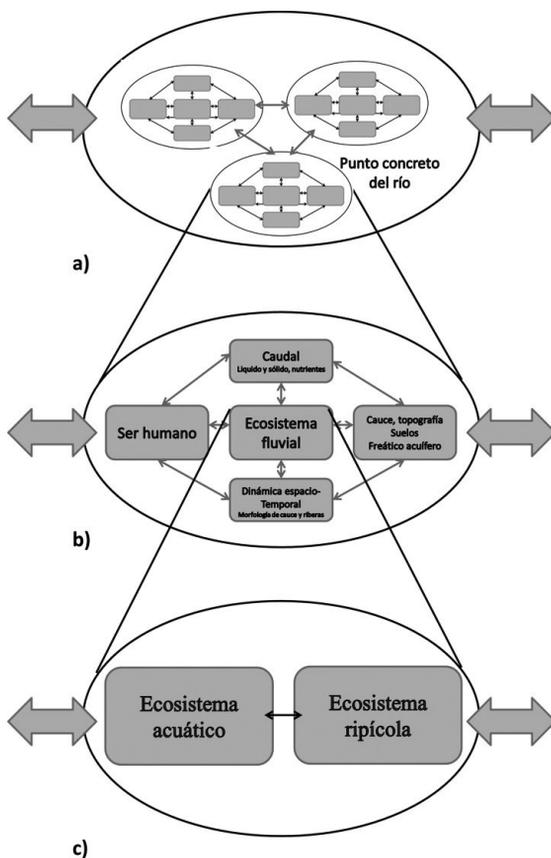


Figura 6. Ejemplo de niveles escalares para el estudio de un río (imagen adaptada de Verhoeff, 2003).

presentes en el ecosistema acuático, su anatomía, su fisiología...) y retomando niveles superiores para explicar determinados fenómenos en torno al río (calidad de las aguas, avenidas...).

Un ejemplo de la estrategia yo-yo planteada en el caso del río puede consistir en comenzar con un nivel escalar macro (figura 6b), identificando algunos de los elementos presentes en un punto concreto del río como el cauce y sus características, las acciones humanas, los ecosistemas presentes (figura 7). A continuación tomar uno de los elementos identificados y trabajar, por ejemplo, los ecosistemas presentes en ese punto (acuá-



Figura 7. Escolares tomando notas sobre las características de un punto concreto del río Ebro y observando organismos acuáticos.

tico y ripario) (figura 6c). Más adelante, podemos profundizar en las relaciones dentro de este subsistema. Por ejemplo, ¿de qué se alimentan los crustáceos que hay en el ecosistema acuático?, ¿de dónde puede venir ese alimento? A partir de ello, se puede de nuevo subir de nivel escalar y transferir esas relaciones a otros elementos del sistema: ¿cómo afecta la morfología del cauce en la alimentación de los crustáceos presentes en ese punto del río? (de nuevo figura 6b). E incluso ampliarlo a otros puntos del río (figura 6a): en otro punto del río aguas arriba, ¿se observan esos crustáceos?, ¿por qué? De este modo, se baja a niveles escalares menores dentro del sistema y posteriormente se sube, favoreciendo una comprensión más profunda del mismo.

Trabajar desde la complejidad, a través del desarrollo del pensamiento sistémico de los estudiantes, tiene como objetivo la mejora de competencias relacionadas con la capacidad de elegir una determinada perspectiva del sistema y realizar descripciones de las características y de los procesos que tienen lugar en él. Todo ello debería permitir explicar fenómenos, como los que aparecen en la tabla 1, así como pensar en diferentes niveles de organización del sistema (Verhoeff, 2003). En este sentido, se podría decir que el río (como recurso) puede favorecer el desarrollo de esa competencia sistémica que, a su vez, se asocia al desarrollo de las habilidades del pensamiento sistémico:

El pensamiento de los estudiantes sobre un sistema proporciona un primer paso en su comprensión holística de aspectos dinámicos y cíclicos de los sistemas terrestres a mayor escala. Aspecto crucial para el desarrollo de una

conciencia ambiental y de una comprensión de nuestro papel crucial, como seres humanos, para influir en los procesos naturales de la Tierra como parte integral del sistema. (Assaraf y Orion, 2010, p. 559).

El río, como sistema, puede permitir la integración de saberes. La integración de aprendizajes no se produce espontáneamente, requiere de andamios y procesos que faciliten dicha integración, avanzando de lo concreto a lo general y viceversa, incluyendo elementos a la ecuación que compone el sistema objeto de estudio, estableciendo relaciones con otros conceptos a través de ajustes progresivos que es por lo que se caracterizan los procesos de modelización. Para evaluar esa integración de saberes se pueden proponer tareas que promuevan la argumentación en clase, el uso de diarios, la realización de mapas conceptuales o la puesta en marcha de proyectos de investigación que partan de problemas referidos a la búsqueda de interacciones entre componentes o el establecimiento de generalizaciones (Cañal, 2012).

En este sentido, Assaraf y Orion (2010) señalan que las relaciones entre los componentes de un sistema son mejor identificadas por los estudiantes cuando son ellos los que las estudian durante la realización de salidas a entornos naturales. Además, si estas salidas se plantean alrededor de un problema o pregunta de investigación referente a un fenómeno como, por ejemplo, a través de actividades de indagación, pueden constituir un puente que permite superar las barreras relacionadas con el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior, como lo son el establecimiento de generalizaciones sobre un sistema o la elaboración de predicciones.

1.3. Observable

Los ríos «de carácter único, singular e inigualable porque dominan un espacio, un corredor estrecho con personalidad propia, una franja de territorio muy valiosa y, por tanto, muy apetecible» (Ollero, 2007, p.7) son arterias fundamentales en la ordenación del territorio. Las civilizaciones se desarrollaron en torno a los ríos, que transportan agua como «autopistas ecológicas que conectan espacios naturales» (Ollero, 2007, p. 8).

¿Quién no tiene cerca un río por donde pasear? ¿Quién no ha leído en la prensa o visto en informativos noticias relativas a los ríos, sequías,



Figura 8. Estudiantes en salidas al campo por los ríos Vero y Ebro.

inundaciones, trasvases...? Se trata de un recurso próximo, familiar y cotidiano para todos (figura 8 y Actividad 2).¹ El río, tangible y cercano, permite la realización de salidas de campo sin la necesidad de hacer grandes desplazamientos y sin perder los beneficios que estas aportan (Brehndt y Franklin, 2014).

No cabe duda de lo fundamental de las salidas de campo en la construcción del modelo de río, siempre y cuando estas estén bien planteadas (Martínez Peña y Gil Quílez, 2014). Así, el modo en el que se recomienda abordar las salidas a entornos naturales es desde la resolución de problemas (Pedrinaci, 2012). Plantear problemas o cuestiones antes de la salida, salir al campo a recoger esos datos para, posteriormente, ser analizados en el aula (Del Carmen y Pedrinaci, 1997), permite que los estudiantes «piensen, hagan, hablen, regulen sus propios aprendizajes y trabajen en interacción» (Pujol, 2003, p. 64). Abarcando un saber conceptual, un saber procedimental, un saber actitudinal y un saber metacognitivo, al mismo tiempo que «hacen ciencia» y construyen un modelo más complejo sobre el objeto de estudio, en este caso en lo referido al río, desde un enfoque próximo a la investigación escolar (figura 9 y Actividad 3).

1 Las fotografías, figuras e ideas que aparecen en el texto se van asociando a lo largo del libro con las actividades propuestas en el capítulo 5.



Figura 9. Niños en una salida al campo, exponiendo sus ideas y participando en debates en el aula.

La investigación escolar o indagación se puede entender como una variedad de estrategias de enseñanza y aprendizaje en las que los estudiantes construyen significados y modelos conceptuales coherentes a través de la formulación de cuestiones, la observación, la búsqueda de información, el diseño y la planificación de experimentos, la revisión de lo conocido hoy en día a la luz de las pruebas experimentales; el uso de instrumentos para reunir, analizar e interpretar datos; la formulación de respuestas, explicaciones y predicciones; y la comunicación de los resultados (NRC, National Research Council, 1996; Romero-Ariza *et alii*, 2016).

Sin embargo, no existe una única forma de desarrollar la enseñanza por indagación en el contexto de una salida de campo, ya que puede planearse atendiendo al nivel de autonomía de los estudiantes. Estas pueden ser más estructuradas, donde es el profesor el que plantea la pregunta y proporciona el procedimiento, o más abiertas, donde son los estudiantes los que proponen la cuestión sobre la que partir (Windschitl, 2003). De esta manera, en los estadios iniciales, en los que los estudiantes todavía no son suficientemente autónomos, resultan más eficaces los enfoques estructurados que los abiertos (Kirschner, Sweller y Clark, 2006). La tabla 3 muestra un ejemplo de los diferentes niveles atendiendo a la autonomía del alumnado.

La indagación aplicada a las salidas de campo puede tener como finalidad la modelización del sistema complejo de río con el fin último de que los estudiantes comprendan un determinado fenómeno natural. No obs-

TABLA 3
NIVELES DE INDAGACIÓN ATENDIENDO A WINDSCHITL (2003) Y EJEMPLOS

<i>Tipo de «indagación»</i>	<i>Características</i>	<i>Ejemplo</i>
Experiencia de confirmación	No se considera indagación. Los estudiantes, siguiendo el procedimiento diseñado por el profesor, verifican principios científicos conocidos.	Se muestra a los estudiantes dos recipientes uno que contiene suelo y otro con el mismo tipo de suelo, pero con vegetación. Se pide que viertan agua sobre la superficie de modo que puedan recogerla sobre otro recipiente, que observen qué sucede con el agua —tiempo que tardan en recogerla, cantidad que recogen, sus características— y que expliquen el porqué (Actividad 6)
Indagación estructurada	El profesorado presenta una pregunta y proporciona un procedimiento a seguir con el fin de completar la investigación.	Se pregunta a los estudiantes sobre la calidad ecológica del agua en un tramo concreto del río. El profesorado proporciona herramientas para la identificación de bioindicadores y la estimación de la calidad del agua a partir de los mismos. Ver, por ejemplo, la Actividad 4.
Indagación guiada	Se proporciona un problema a los estudiantes, pero deben ser ellos los que decidan las estrategias para resolverlo.	Se pregunta a los estudiantes sobre la repercusión en la calidad de las aguas de un río debido a las aguas residuales procedentes de una industria en una determinada localidad. Los estudiantes deben proponer estrategias y llevarlas a cabo para dar respuesta a la cuestión.
Indagación abierta	Los estudiantes plantean sus propias preguntas y diseñan sus propias investigaciones.	Tras una salida al río, los estudiantes observan que en una de las riberas hay más vegetación (cantidad y diversidad) que en otra y se preguntan cuál puede ser el motivo de esa diferencia y qué orilla resistiría mejor las avenidas. Emitir hipótesis y diseñan estrategias para comprobarlas.

tante, también podemos hablar en términos de indagación cuando se llevan a cabo actividades de argumentación en las que se realizan investigaciones, generalmente ligadas a cuestiones sociocientíficas, donde a partir del establecimiento de una coordinación entre afirmaciones y pruebas, se elaboran explicaciones de forma discursiva (Couso, 2014; Zembal-Saul, 2008).

En este sentido, el río es también un tema objeto de ser trabajado desde una perspectiva argumentativa ligada a enfoques educativos de Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS). La problemática en torno al río —por ejemplo, en relación con la regulación de los ríos con embalses o a la gestión del agua (Ibarra, 2007)— cumple los criterios necesarios para ser con-

El desbordamiento del Ebro reabre el debate: ¿son necesarios los trasvases?

- ▶ Las cuencas del Júcar y el Segura se sitúan en el 27% y 33%
- ▶ Los detractores del trasvase cargan contra la "huerta de Europa" en Levante
- ▶ La producción agrícola allí aporta el 68% de las exportaciones de hortalizas
- ▶ Ecologistas y defensores del Tajo piden una reconversión en las políticas

Figura 10. Captura de pantalla de una noticia relativa a un debate sobre los trasvases. 21/04/2018. RTVE. Recuperado de bit.ly/30nunGs.

siderados desde la perspectiva CTS. En primer lugar, goza de racionalidad, dado que engloba problemas científicos presentes en la sociedad que permiten visualizar la ciencia tanto por sus principios lógicos y empíricos como desde sus limitaciones. En segundo lugar, tiene relación con cuestiones técnicas; y, por último, involucra a la sociedad (Strieder, Bravo Torija y Gil Quílez, 2017). Un ejemplo de una problemática en torno al río que permite enfoques argumentativos CTS sería el trasvase de los ríos (figura 10).

La argumentación sobre cuestiones sociocientíficas da oportunidad al desarrollo del pensamiento crítico de los estudiantes y supone, no solo la emisión o evaluación de conclusiones a partir de datos y pruebas que se relacionan con una justificación, sino también la comunicación y persuasión a una determinada audiencia (Jiménez-Aleixandre, 2010).

Ante una determinada afirmación sobre el río, se pueden plantear actividades que favorezcan el desarrollo de destrezas argumentativas: la identificación de datos, el uso de pruebas, la evaluación de afirmaciones, su justificación y comunicación. Para ello se pueden emplear bases de orientación que permitan la redacción y evaluación de justificaciones que conecten los datos con las conclusiones, como la de Jorba, Gómez y Prat (1998), mostrada en la tabla 4.

Para persuadir a otras personas de nuestras ideas utilizamos la argumentación, en donde, además de la justificación teórica, usamos razonamientos de tipo económico, social, afectivo, etc. En la figura 11 se aplica una adaptación del esquema que Jiménez-Aleixandre (2010) propone, tomando como referencia el diagrama argumentativo de Toulmin, para mostrar cómo se puede construir una argumentación sobre una cuestión controvertida. En este caso se ha aplicado a la Actividad 13, propuesta en el libro, sobre si se debería eliminar un azud construido en el siglo XIV que ya no se utiliza.

TABLA 4
 BASE DE ORIENTACIÓN PARA ESCRIBIR (Y EVALUAR)
 UNA JUSTIFICACIÓN (JORBA ET ALII, 1998)

1	Situar la pregunta a justificar en su contexto: época, materia (ciencia, historia, supersticiones...), ideas de partida.
2	Identificar hechos o datos sobre los que se pide la justificación.
3	Identificar el conjunto de conocimientos (teorías) de las que se parte.
4	Formular frases que relacionen los hechos del punto 2 con los conocimientos del punto 3.
5	Entre estas frases seleccionar las que justifiquen mejor una posible respuesta a la pregunta inicial.
6	Organizar esas frases de forma coherente, diferenciando las ideas personales de las científicas.
7	Redactar un texto relacionando causalmente hechos y razones, utilizando conectores como: a causa de, por tanto, porque, en consecuencia...

¿Deberían eliminar este azud construido en el siglo XIV?



Figura 11. Orientaciones para elaborar argumentos y evaluarlos, junto con un ejemplo.

TABLA 5
CRITERIOS PARA EVALUAR LOS DEBATES
(ADAPTADO DE EDELSTEIN Y EDWARDS, 2002)

<i>Criterio</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Rapidez e iniciativa</i>	No responde, raramente participa espontáneamente.	Responde si se le pregunta directamente, participa ocasionalmente.	Responde espontáneamente una vez el debate está avanzado («calibra la situación»).	Toma la iniciativa, participa activamente en el debate.
<i>Relevancia</i>	Aportaciones que no tienen nada que ver con el debate.	Ocasionalmente hace intervenciones cortas que no aportan nada al debate.	Frecuentemente hace aportaciones relevantes.	Continuamente hace aportaciones pertinentes, bien construidas, con ejemplos y referencias.
<i>Expresión</i>	No se expresa claramente, ni las ideas ni las opiniones, no hay conexión con el tema de debate.	Expresión pobre que provoca una conexión poco evidente con el tema.	Las ideas se expresan claramente, aunque ocasionalmente la relación con el tema no es evidente.	Expresa las ideas de manera clara, concisa y sencilla y las conexiones con el tema son obvias.
<i>Contribución a la clase</i>	No muestra interés por participar en la clase/grupo, muestra indiferencia.	Monopoliza la discusión, provoca la no participación de los otros.	Mínimo esfuerzo por integrarse, ocasionalmente participa.	Participa frecuentemente en el debate y presenta ideas a la consideración del grupo.

Asimismo, muchas de las actividades propuestas relacionadas con el posicionamiento en relación con una controversia sociocientífica incluyen una fase de debate grupal que puede ser evaluado. Tomamos como referencia la rúbrica que proponen Edelstein y Edwards (2002) para evaluar posibles debates en el aula (tabla 5).

El río puede ser observado: su proximidad tanto física como dialéctica en los periódicos, en conversaciones, en la televisión... en nuestro día a día. Permite, por tanto, la realización de planteamientos contextualizados relacionados con un conocimiento real del entorno de los estudiantes. Aspecto que permite el desarrollo de actividades basadas en la realización de salidas a un determinado tramo del río, centradas en la puesta en marcha de investigaciones sobre fenómenos ligados al sistema río (más o menos dirigidas) o vinculadas al desarrollo de destrezas argumentativas en los estudiantes que les permitan tener una visión más global y crítica del funcionamiento de un río y de su importancia en la sociedad.

1.4. Organización del libro

Tal y como se ha tratado de representar a lo largo de estas páginas, el río puede ser visto desde diferentes perspectivas que poseen una línea divisoria algo difuminada: el aprendizaje de un sistema complejo, que puede ser considerado como un recurso educativo, visto desde la construcción y el uso de modelos a diferentes escalas y con diferentes perspectivas (la físico-química, la biológica, la geológica, la social).

Así, desde su didáctica, el presente libro propone una descomposición en tres ejes en torno al río que resumen los tres apartados comentados en este capítulo. En primer lugar, en el capítulo 2 se presenta un modelo de río desde la Ecología y la dinámica fluvial. Se hablaría del modelo «experto» que se puede tomar en consideración para llevar a cabo las actividades propuestas en este libro, aludiendo a la *Representatividad*. A continuación desde su complejidad: ¿cómo podemos descomponer un sistema tan complejo como lo es el río para hacerlo tangible? La respuesta a esta pregunta relacionada con la *Integración* se da en el capítulo 3. En el capítulo 4, se utiliza la perspectiva CTS mostrando ejemplos detallados de la presencia del río en nuestras vidas desde los tópicos y controversias sobre él, empleando lo cotidiano que hace referencia a lo *Observable*. Recogiendo todas estas ideas, en el capítulo 5 se presentan actividades que permiten trabajar el modelo de río dentro de un planteamiento de aprendizaje sistémico.

ÍNDICE

Prólogo	9
1. Presentación.....	11
1.1. Representativo.....	12
1.2. Integrador	15
1.3. Observable	23
1.4. Organización del libro	30
2. Representativo: El modelo de río desde la Ecología y su dinámica	31
2.1. Dinámica fluvial	32
2.2. Flujo de energía en el ecosistema fluvial	37
2.3. Indicadores biológicos.....	40
2.4. Especies invasoras	43
3. Integrador: El río, importancia y complejidad.....	45
3.1. ¿Por qué son importantes los ríos?	46
3.2. Determinantes del concepto <i>río</i> : el cubo mágico.....	48
3.3. ¿Qué arrastra un río?	55
3.4. ¿Cuánta agua necesita un río?	57
4. Observable: La controversia social.....	63
4.1. Aspectos sociales	63

4.2. La cultura «populista» de los ríos y su influencia en las aulas	65
4.3. Controversias sociocientíficas en torno al río	69
5. Actividades para aprender sobre el río	73
5.1. Orientaciones previas, resumen de las actividades y propuesta de secuenciación	74
Actividad 1. Planteamiento previo al estudio del río	76
Actividad 2. Una mirada al paisaje del río y al estado ecológico de su hábitat fluvial	78
Actividad 3. Estudio de la vegetación de ribera	87
Actividad 4. La calidad del agua de un río. Bioindicadores.....	98
Actividad 5. Cantos rodados: un muestrario de rocas....	118
Actividad 6. El papel del suelo en el río	125
Actividad 7. Clima y desbordamientos de ríos	129
Actividad 8. Aguas subterráneas	139
Actividad 9. Una planta invasora alóctona: El árbol del cielo	144
Actividad 10. Los ríos y el tiempo geológico	150
Actividad 11. El gasto hídrico.....	159
Actividad 12. Discutiendo tópicos sobre el río	164
Actividad 13. Azud sí, azud no	167
Actividad 14. El juego del agua	176
5.2. Para resumir... El modelo de río y su aprendizaje	180
Referencias bibliográficas	183

*Este libro se terminó de imprimir
en los talleres del Servicio de Publicaciones
de la Universidad de Zaragoza
en octubre de 2021*





¿Cómo estructurar el aprendizaje de sistemas?, ¿cómo favorecer el incremento en la complejidad de los modelos sobre el río de nuestros estudiantes? Son algunas de las cuestiones en las que hemos trabajado a lo largo de nuestra carrera profesional con alumnado de los distintos niveles educativos. Para responder dichas cuestiones, en este libro se presentan fundamentos didácticos y ecológicos que se utilizan como base para el desarrollo de actividades en torno al río propuestas en el último capítulo. Estas se estructuran buscando una progresión en la complejidad del modelo del río en los estudiantes.



M.^a JOSÉ SÁEZ BONDÍA,
M.^a JOSÉ GIL QUÍLEZ,
M.^a BEGOÑA MARTÍNEZ PEÑA
y JOSÉ CARRASQUER ZAMORA

Profesores de las facultades de Educación de Huesca, Teruel y Zaragoza (Universidad de Zaragoza) en el Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Miembros del Grupo de Investigación de Referencia del Gobierno de Aragón «*Beagle. Didáctica de las Ciencias Naturales*», perteneciente al Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales (IUCA). Con un extenso recorrido en docencia, investigación, innovación y transferencia en el campo de la Didáctica de la Ecología en general y de los ríos en particular.

Son numerosas sus colaboraciones con distintas instituciones (centros educativos y de formación de profesorado, ayuntamientos, centros medioambientales, entre otros) en la realización de proyectos y cursos y en la elaboración de materiales didácticos sobre los sistemas naturales.

La pasión por la naturaleza y los ríos sigue presente en estos autores y, por tanto, el deseo de preguntarse, descubrir, aprender, disfrutar y comunicar todo aquello que ofrece el medio.