

El río: un tema cotidiano para el aula de ciencias

The river: a daily issue for the science classroom

M^a BEGOÑA MARTÍNEZ PEÑA, M^a JOSÉ GIL QUÍLEZ

Grupo de Investigación Beagle, Instituto Universitario de Investigación en Ciencias Ambientales de Aragón (IUCA), Universidad de Zaragoza, Pedro Cerbuna s/n 50009 Zaragoza. E-mails: bpena@unizar.es / quilez@unizar.es

Resumen Los ríos son sistemas naturales complejos y su gestión es causa de polémicas entre regiones y países. En la enseñanza obligatoria los alumnos deben desarrollar una actitud crítica ante los problemas del agua. En este trabajo se estudia la construcción del modelo de río, por parte de estudiantes universitarios, y si ese modelo permite plantear y/o responder preguntas acerca de la dinámica y las acciones humanas en los ríos. Se estudiaron dos ríos, utilizando fichas estándar para describir las orillas, el bosque de ribera, los organismos acuáticos y los diversos hábitats existentes. Se constata que el alumnado tiene arraigada la idea de río como una corriente continua de agua formada por curso alto, medio y bajo. Las aguas subterráneas o la dinámica fluvial apenas son consideradas y la referencia a organismos que forman parte del ecosistema fluvial es reducida. Los estudiantes, al final del proceso, construyen un modelo de río más elaborado que el inicial, con más elementos y más relaciones entre ellos. Pero las interrelaciones continúan siendo más lineales que en red. Aunque identifican los elementos del río, tienen dificultades para predecir cómo reaccionarían ante una avenida. Responden bien a cuestiones que únicamente implican aspectos científicos (elementos del modelo de río y dinámica fluvial), pero cuando incorporan la dimensión social tienen más peso las razones económicas, ideológicas, o las emociones y creencias, que las científicas.

Palabras clave: Modelo de río, maestros en formación, preguntas, dinámica fluvial.

Abstract *Rivers are complex systems and their management is a controversial issue among regions and countries. It is necessary that compulsory education students develop a critical attitude towards water issues. This paper studies the construction of the river model by university students and whether this model allows them to ask and /or answer questions about ecology and river management. Two rivers were studied using standard worksheets to describe the riverside, riparian forest, water organisms and habitats. It is striking to see that among the students there is a deep-rooted notion of the river as just a water current. Groundwater or river dynamics are hardly considered, furthermore there are few references to living beings as part of the river ecosystem. At the end of the process, students construct a more elaborate model, with more elements and more relationships between them. But relationships are still linear, rather than making up a network. Although they identify the elements of the river, they find it difficult to predict how they would react to a flood. The students respond well to questions that only involve scientific reasoning (elements of the river model and river dynamics). But when they have to incorporate social aspects, we see that economic and ideological reasons, as well as emotions and beliefs, carry more weight than scientific arguments.*

Keywords: *River model, teachers in training, questions, river dynamics.*

INTRODUCCIÓN

Los ríos son sistemas naturales complejos y su gestión es causa de polémicas entre regiones y países. Las cuestiones referentes a los ríos (trasvases, desbordamientos, dragados, etc.) aparecen periódicamente en los medios de comunicación, se puede afirmar que es un tema de permanente actualidad (Fig. 1). Es necesario que el alumnado de los distintos

niveles educativos desarrolle una actitud crítica ante estos problemas, que le permita opinar de manera fundamentada acerca de cuestiones como ¿Por qué es importante mantener el bosque de ribera?, ¿Qué problemas plantea el trasvase de agua entre cuencas?, ¿Qué consecuencias originaría dragar el río?, ¿Y encauzarlo?, ¿Qué significa limpiar los ríos?...

El punto de partida para poder hablar del río es conocer el ecosistema fluvial, es decir, cómo



Fig.1. Noticias aparecidas en los medios de comunicación sobre las riadas.

funciona el río. En anteriores trabajos (Gil Quílez y Martínez Peña, 2012, 2014 y Martínez Peña *et al.*, 2014), al preguntar a estudiantes universitarios qué es un río, la respuesta más frecuente era: “Una corriente de agua que nace en las montañas y desemboca en el mar”. Esto indica una definición memorística y muy limitada que no les serviría para abordar las cuestiones anteriores. Para poder responder a esas preguntas de manera crítica es necesario que el alumnado integre los aspectos relativos al ecosistema, es decir, aspectos bióticos y abióticos, y a la dinámica fluvial de manera que construyan un modelo de río potente que les permita explorar cuestiones del mundo real como las señaladas previamente.

Partimos de la premisa de que para construir este modelo es fundamental el trabajo de campo, es decir, los estudiantes tienen que vivir el río, y de esta forma desarrollar conocimientos, habilidades y actitudes que darán un valor añadido a sus experiencias en el aula. La propuesta didáctica consistió en un estudio de dos ríos, utilizando fichas estándar para describir el estado del bosque de ribera, los organismos acuáticos y los diversos hábitats existentes en un tramo de río, comparando dos puntos diferentes de un mismo río. El trabajo que se presenta forma parte de una investigación más amplia en torno a la construcción del modelo de río por parte de maestros en formación y si ese modelo les permite plantear y/o responder preguntas, no sólo acerca de la ecología, sino también sobre actuaciones en los ríos. En este trabajo nos vamos a centrar fundamentalmente en la dimensión geológica. Queremos saber si los estudiantes introducen aspectos geológicos que aporten complejidad a su modelo inicial de río (como la importancia de la pendiente, laderas, geomorfología de las orillas, sustrato rocoso, aguas subterráneas,...) y si los utilizan para responder a preguntas sobre el río, así como para discutir sus posturas frente a clichés relativos a los ríos.

MARCO TEÓRICO

Entendemos por modelo la representación mental de un hecho o un acontecimiento (Archer *et al.*, 2007; Gilbert y Boulter, 2000; Márquez *et al.*, 2004). Los modelos permiten describir fenómenos naturales, representar ideas principales de un sistema, se pueden manipular para explorar la dinámica del sistema, permiten hacer predicciones sobre eventos futuros, sugieren la necesidad de estudios empíricos, y facilitan la comunicación de las ideas (Archer *et al.*, 2007). Los modelos se pueden considerar como intermedios entre la capacidad del alumnado de interpretar fenómenos naturales y los múltiples aspectos de estos fenómenos. Aprender a construir, comparar y pulir modelos es uno de los aspectos de la indagación que facilita el aprendizaje de las ciencias. La capacidad de argumentar sobre ideas y acciones de manera fundamentada y creativa, a partir de modelos teóricos, se considera básica para adquirir la competencia científica en la enseñanza Secundaria (Erduran y Jiménez-Aleixandre, 2007; Márquez y Prat, 2010).

La importancia del agua en el medio ambiente es objeto de estudio en toda la enseñanza obligatoria, tanto para el alumnado de Educación Primaria como para el de Educación Secundaria Obligatoria. Las investigaciones realizadas con estudiantes muestran los problemas que tienen para comprender la dinámica del ciclo del agua y en especial aquellos aspectos que no son visibles como las aguas subterráneas (Bach y Brusi, 1988; Ben-Zvi Assaraf y Orion, 2005; Dickerson *et al.*, 2007; González García y Fernández Ferrer, 2012; Gunckel *et al.*, 2012; Marcén, 2010; Márquez y Bach, 2007; Martínez Peña y Gil Quílez, 2014). Algunos autores consideran el ciclo como una representación de los libros de texto que no conecta con lo que ocurre con el agua en las propias ubicaciones geográficas del alumnado (Dove *et al.*, 1999; Endreny, 2010; Shepardson *et al.*, 2009). Por ejemplo, el río es un componente dinámico del ciclo del agua, con variaciones espacio temporales del caudal que, dependiendo de la zona de la cuenca hidrográfica, afectan de diferente manera, así fuertes lluvias en la cabecera pueden ocasionar graves inundaciones en el curso medio o bajo. Es decir, los diagramas del ciclo del agua son simples representaciones gráficas, y para constituir modelos, además de los componentes de los sistemas, deberían incluir los mecanismos, la causalidad, y las funciones, de manera que faciliten el desarrollo de las explicaciones y las predicciones de eventos que se producen en los sistemas modelados (Harrison y Treagust, 2000; Schwarz *et al.*, 2009). Un modelo de ciclo del agua adquiere mayor poder explicativo cuando se vincula a fenómenos conocidos como las lluvias, las fuentes y los ríos (Márquez *et al.*, 2003).

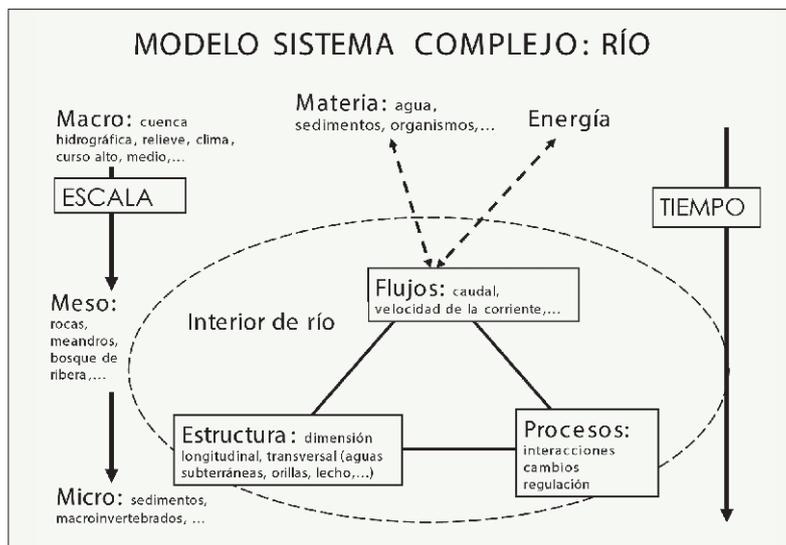
Para abordar la idea de río como sistema los elementos del río que se tendrían que trabajar son: a) Cauce, caudal, velocidad de la corriente, lecho; b) Aguas subterráneas, bosque de ribera, orillas; c) Relieve, tipo de roca, altitud; d) Clima; e) Organismos del río, aporte de nutrientes; f) Elementos introducidos como motas, azudes, escolleras, pozos, fabricas, granjas, cultivos, especies alóctonas... Todos estos elementos interaccionan entre sí a lo largo del tiempo

y del espacio tal como se refleja en el esquema del modelo de río como un sistema complejo (Fig. 2).

Como se ha visto arriba el tema del ciclo de agua es frecuente en la bibliografía, sin embargo, no existen demasiados estudios específicos referentes a la enseñanza-aprendizaje de los ríos. Algunos trabajos se centran en las concepciones de los estudiantes acerca del papel de los ríos en la formación de un paisaje característico, por ejemplo el origen de un cañón encajado en rocas consistentes con un río en la base (Sexton, 2012). En este estudio, ciertos estudiantes presentan concepciones científicas incompletas y consideran que los ríos tallan los cañones, pero no reconocen la conexión con los procesos superficiales (fenómenos de ladera) y los cambios de nivel de base, mientras que otros relacionan la formación de barrancos o cañones con procesos catastróficos como terremotos (Sexton, 2012). Otros estudios relativos a la dinámica fluvial proponen actividades para realizar en el aula (Marques *et al.*, 1995, Bach, 2001 y 2008) tratando la cuenca hidrográfica como sistema y analizando con el alumnado los factores que controlan los procesos de avenidas (Bach, 2001 y 2008).

Para trabajar con los estudiantes el modelo de río es necesario desarrollar actividades en el aula y laboratorio, pero también es fundamental el trabajo de campo. Sin embargo, en los programas escolares no se pone demasiado énfasis en el trabajo de campo y existe el peligro de que los estudiantes puedan percibir las ciencias como algo puramente descriptivo, pasando por alto oportunidades para tratar cuestiones medioambientales. Las actividades de campo deben estar debidamente planificadas, bien trabajadas y con un seguimiento eficaz. De acuerdo con Pedrinaci (2012) la forma más adecuada de plantearlas, teniendo en cuenta el conocimiento actual acerca de cómo se aprende, es la que denomina «basada en la resolución de problemas» ya que promueve un mejor desarrollo de la competencia científica. Una forma de hacerlo es a través de la formulación de preguntas investigables sobre un tema concreto.

El conocimiento avanza a medida que se plantean nuevas preguntas y éstas surgen de la observación, de la comparación y del contraste de puntos de vista (Roca *et al.*, 2013). De la misma forma que se afirma que una pregunta de investigación bien formulada es más de media investigación, una pregunta bien formulada por quien aprende es más de medio aprendizaje (Sanmartí y Márquez, 2012). La actividad de aprender exige representar adecuadamente sus objetivos y éstos se deducen de las preguntas o interrogantes que nos hayamos podido formular (Sanmartí y Jorba, 1995; Sanmartí y Márquez, 2012). De acuerdo con Pickett *et al.* (1994), hay muchos tipos de preguntas y para caracterizarlas hay que tener presente que una buena descripción es la base para poder elaborar una explicación general sobre determinado fenómeno. A partir de ella, se pueden establecer relaciones entre los componentes que intervienen en el fenómeno, comprobar estas relaciones mediante la experimentación y aportar pruebas que las confirmen o las rechacen. Sin embargo, profesores y estudiantes, a menudo, tienen dificultades para formular buenas preguntas,



ya que no todas se prestan a la investigación científica (Odom y Bell, 2011).

Dentro de la discusión de los tipos de preguntas podemos referirnos a dos clases de conocimiento: declarativo y procedimental (Gagne, 1985). Cada clase de conocimiento tiene sus correspondientes tipos de preguntas. Las preguntas de conocimientos declarativos suponen pedir recuerdo de la información específica, es decir, “conocer la respuesta a”, y no son buenas preguntas de investigación. El conocimiento procedimental se refiere a “saber cómo” y se asocia con dos tipos de preguntas: preguntas descriptivas, que se puede utilizar para identificar o describir fenómenos interesantes, y preguntas causales, que se utilizan para preguntar por qué se produce un fenómeno. Las preguntas causales están asociadas con la construcción de múltiples hipótesis para dar explicaciones tentativas de fenómenos. Chin y Osborne (2010) señalan que el hecho de que los estudiantes planteen preguntas puede ser un primer paso para rellenar lagunas de conocimiento que les permitan articular su comprensión sobre un tema, para hacer conexiones con otras ideas, y también para tomar conciencia de lo que no lo saben.

Fig. 2. Modelo de río como sistema (fuente Grup Complex, UAB).

METODOLOGÍA

Contexto

Se ha trabajado con 46 estudiantes del último curso de la diplomatura de Magisterio dentro de la asignatura “Conocimiento del medio natural y su didáctica”. Se trataba de la única asignatura de ciencias de la diplomatura, y la formación previa de los estudiantes en las materias de ciencias naturales era la correspondiente a los estudios cursados durante la enseñanza obligatoria.

Actividades

El objetivo buscado era que construyeran un modelo complejo de río que les permitiera opinar de forma fundamentada sobre la siguiente cuestión

Tabla 1. Actividades realizadas por los estudiantes de acuerdo con la secuencia de aprendizaje de modelos, modificada de Schwartz et al. (2009).

SECUENCIA	ACTIVIDADES
Objeto de estudio: Dos ríos	Cuestionario inicial (1sesión)
Construcción del modelo	Salida al campo (1 jornada); Trabajo de laboratorio (3 sesiones)
Evaluación del modelo	Presentaciones de los estudiantes (1 sesión): Respuestas a las preguntas 2, 3 y 4 Propuesta de planteamiento de preguntas a niños de Primaria (1 sesión)
Contrastación del modelo frente a otras ideas	Discusión sobre los clichés (1 sesión)
Utilización del modelo para predecir o explicar	Respuesta a la pregunta 1 (incluida en la sesión anterior)

(referida a las dos áreas de los ríos visitados): 1) *En caso de fuertes avenidas ¿cómo responderían las distintas zonas del río?*

Las actividades planteadas se enmarcan en la secuencia de aprendizaje de modelos adaptada de la propuesta por Schwartz et al. (2009) y quedan resumidas en la tabla 1.

Para comenzar el trabajo y tener información sobre el punto de partida, se les planteó un cuestionario inicial que constaba de dos cuestiones: *¿qué es un río?* y *¿cuáles son los elementos constituyentes del mismo?*

Se dividió a la clase en dos grandes grupos, media clase estudió un río mediterráneo, el río Huelva (Fig. 3) en dos tramos diferentes, y la otra mitad un río de montaña, el río Gállego (Fig. 4), también en dos tramos distintos. En ambos casos se visitó el curso alto de los ríos y los tramos estudiados correspondían a una zona de valle más abierto y a otra de valle más cerrado con el objetivo de que ofrecie-

sen respuestas diferentes a la cuestión 1: *En caso de fuertes avenidas ¿cómo responderían las distintas zonas del río?*

Los estudiantes realizaron las distintas actividades de campo, de laboratorio y aula en pequeños grupos de 2-4 miembros.

Durante el trabajo de campo, debían responder a las siguientes preguntas: 2) *¿Cuáles son los elementos que caracterizan el modelo de río?*, 3) *¿Qué diferencias encuentras en las distintas zonas visitadas?*, 4) *¿En qué zona hay mayor biodiversidad?*

Para obtener datos fiables que garanticen la identificación de pruebas para la construcción de explicaciones, se debe poner el énfasis en la observación especializada. Por ello, para guiar la toma de datos, se entregó a los alumnos unas fichas estándar que tenían que cumplimentar: QBR (calidad del bosque de ribera) e IHF (índice de hábitats fluvial) (Ecostrimed, 2012). Además debían tomar muestras



Fig. 3. Estudiantes trabajando en la toma de datos de un río mediterráneo, el río Huelva.



Fig. 4. Estudiantes trabajando en la toma de datos de un río de montaña, el río Gállego.

Grado de cobertura de la ribera	% de superficie cubierta de vegetación
Estructura de la cobertura	% de árboles y arbustos
Calidad de la cubierta (depende del tipo geomorfológico de la ribera*)	Número de especies diferentes de árboles autóctonos
*Determinación del tipo geomorfológico de la zona de ribera	Tipo de desnivel de las laderas de la ribera, existencia de islas en el lecho del río y porcentaje de sustrato duro con incapacidad para que arraigue una masa vegetal permanente
Grado de naturalidad del canal fluvial	Modificaciones que afectan al río y sus riberas

Tabla II. Resumen de las observaciones recogidas en la ficha QBR (calidad del bosque de ribera) basado en Ecostrimed (2012).

de los organismos acuáticos (macroinvertebrados). El resumen de las observaciones de las fichas se recoge en las tablas II y III.

En el laboratorio, los estudiantes identificaron los organismos para establecer la calidad de las aguas aplicando el índice biológico IBMWP (Ecostrimed, 2012). Pero la calidad de un río, no solo se define por los organismos presentes en ella, sino por el estado del bosque de ribera y de la diversidad de hábitats que se pueden encontrar en tramos de río concretos, por lo que se necesitaban los datos de las fichas de observación para determinar el estado del río estudiado.

Posteriormente, toda la información obtenida en la salida al campo, de las fichas de observación y de los índices biológicos la integraron de manera que caracterizaran los dos tramos de los ríos estudiados y pudiesen responder a las cuestiones planteadas inicialmente.

Así mismo debían proponer preguntas sobre el río para plantearlas al alumnado de Educación Primaria y preguntas que podría plantearles dicho alumnado. Esta actividad sería una muestra de la comprensión final del modelo, ya que la capacidad de plantear buenas preguntas va asociada al nivel de conocimiento sobre el tema.

Finalmente, para valorar la consistencia del modelo, se pasó a los estudiantes diversas afirmaciones (clichés o tópicos) acerca de los ríos y debían decir si estaban de acuerdo o no con las mismas y por qué. Peñas y Massip (2011) recogen una serie de tópicos sobre el agua, a los que definen como acepciones semánticas aceptadas socialmente como válidas, debido a las inercias históricas o a los intereses de ciertos grupos de poder, pero que nada tienen que ver con la realidad científica y social. En este trabajo se han utilizado los siguientes:

a) *Lo fundamental en el concepto de río es comprender que se trata de una corriente continua de agua, es decir, un canal que lleva agua.*

b) *Los ríos están sucios, llenos de piedras, árboles y vegetación porque no se limpian como antes. Hay que limpiar los cauces para que circule el agua. De esa manera se evitarían las crecidas que producen inundaciones con daños catastróficos.*

c) *Habría que cuidar más los ríos y restaurarlos, es decir, hacer parques fluviales con escolleras en las orillas, carriles bici y plantaciones de árboles.*

Metodología de análisis

Las respuestas al cuestionario inicial se analizan, una vez transcritas, recogiendo los términos que hacen referencia a la definición de río y a los elementos que lo forman. Teniendo en cuenta la idea del modelo de río comentado anteriormente, se han agrupado las respuestas en las dimensiones longitudinal, es decir, los rasgos característicos de las distintas zonas del río (curso alto, medio y bajo), transversal, referida a una sección perpendicular del río que incluiría el subsuelo y temporal considerando la evolución a lo largo del tiempo.

Los resultados obtenidos fueron presentados, en exposiciones de 10 minutos, por cada grupo de estudiantes al resto de los compañeros. En las presentaciones se valoró la idea de sistema implícita en dichas exposiciones y si los alumnos hacían referencia a la descripción de los elementos, estructura, procesos, interacciones, según el esquema de la figura 2 y si finalmente formulaban predicciones respondiendo a la pregunta inicial *En caso de fuertes avenidas ¿cómo responderían las distintas zonas del río?*

Partiendo de las ideas de varios autores (Gagne, 1985; Pickett *et al.*, 1994; Chin y Osborne, 2010) las preguntas se catalogan en los siguientes tipos: declarativas, descriptivas y causales. Dentro de las declarativas se incluyen aquellas que los futuros maestros plantearían para introducir en el aula el

Rápidos-pozas	Porcentaje de fijación de bloques, cantos y gravas por sedimentos finos
Frecuencia de rápidos	Relación entre la distancia entre rápidos y la anchura del río
Composición del sustrato	Porcentaje de bloques, cantos, gravas, arenas, limos y arcillas
Regímenes de velocidad/profundidad	Número de categorías presentes en el tramo: lento/profundo, lento/somero, rápido/profundo y rápido/somero
Porcentaje de sombra en el cauce	
Elementos de heterogeneidad en el cauce	Hojarasca, troncos y ramas, raíces expuestas, diques naturales
Cobertura de vegetación acuática	Porcentaje de briofitos, algas, fanerógamas,...

Tabla III. Resumen de las observaciones recogidas en la ficha IHF (índice de hábitats fluvial) basado en Ecostrimed (2012).

tema del río y las que se refieren a conocimientos sobre geografía regional respecto a los ríos. Las descriptivas demandan características de los ríos o de los elementos que los constituyen. Finalmente, las causales plantean establecer relaciones de tipo dinámico entre distintos elementos del río, entre los procesos y sus resultados.

El análisis de las opiniones de los estudiantes frente a los clichés se ha realizado contabilizando las argumentaciones a favor o en contra y las matizaciones que planteaban respecto a cada una de ellas.

RESULTADOS

Modelo de río

Los resultados de las respuestas al cuestionario inicial: *¿qué es un río? y ¿cuáles son los elementos constituyentes del mismo?* se muestran en la tabla IV. En el modelo inicial llama la atención lo arraigado de la definición de río como una corriente continua de agua y la alusión sistemática a los distintos tramos existentes a lo largo de un río. Las aguas subterráneas o la dinámica fluvial, apenas son consideradas y también resulta llamativo la escasa referencia a organismos que forman parte del ecosistema fluvial (Tabla IV).

Tabla IV. Porcentaje de los rasgos geológicos de los ríos señalados por el alumnado en el cuestionario previo y al final del desarrollo de la propuesta didáctica.

RASGOS	RASGOS SEÑALADOS	INICIAL	FINAL
Dimensión longitudinal		70%	84%
	Importancia de la meteorología y las estaciones en los cambios de caudal	70%	84%
	Procesos de erosión/sedimentación	50%	40%
	Velocidad de la corriente	33%	80%
	Pendiente del río	6%	24%
	Importancia del tipo de roca y la topografía en la velocidad del agua	8%	25%
	Meandros	56%	9%
	Deltas	28%	15%
	Terrazas	4%	7%
Dimensión transversal		22%	76%
	Valles	45%	41%
	Riberas o llanura de inundación	22%	76%
	Orillas		26%
	Cauce	67%	67%
	Profundidad del cauce	-	67%
	Anchura del cauce	-	31%
	Presencia de rápidos/pozas	4%	58%
	Islas (mejanas)	-	29%
	Sustrato (bloques, cantos, gravas, arenas, limos,...)	4%	53%
	Aguas subterráneas	20%	42%
Dimensión temporal		-	16%
	Avenidas/inundaciones	9%	42%
	Estiajes	-	9%

“Es una corriente natural de agua que fluye con continuidad... En su nacimiento, normalmente son en zonas montañosas, su potencial erosivo es mucho mayor y suelen formarse valles en forma de V al encajarse en el relieve. En la parte media suelen alternarse las áreas donde el río erosiona y deposita parte de sus sedimentos lo cual se debe principalmente a las fluctuaciones de la pendiente. A lo largo del curso medio, el río sigue teniendo la suficiente energía como para mantener un curso recto. En la parte final o desembocadura, el río fluye en áreas relativamente planas, suele formar meandros, y establece curvas regulares. Puede llevar gran cantidad de sedimentos y depositarlos en la desembocadura lo que forma los deltas, llamados así por su forma de D”.

“... Su nacimiento puede deberse a diversas causas como el deshielo en las altas montañas, al surgimiento de una fuente o manantial procedente de las aguas subterráneas”.

“El curso inferior... El caudal es mayor y en caso de fuertes avenidas suele haber inundaciones”.

“El río forma un ecosistema donde existen diferentes formas de vida: microorganismos, peces, pájaros, árboles, arbustos y plantas”

Después de efectuar las salidas para visitar las dos zonas de cada uno de los ríos y tras realizar el trabajo de laboratorio, los estudiantes integraron los datos y resultados obtenidos caracterizando los dos tramos de los ríos estudiados, respondiendo a las cuestiones planteadas inicialmente, y presentando las conclusiones a los demás grupos de estudiantes. En el modelo final de río los estudiantes mantienen la definición de río expuesta antes de comenzar el trabajo, insistiendo en su dimensión longitudinal e incorporando matizaciones de aspectos trabajados en las fichas de observación y análisis (Tabla IV).

En la exposición final del trabajo de campo y de laboratorio los estudiantes presentan la información de la misma manera a como se recoge en las fichas, es decir, no se reelabora. Por ejemplo describen los tramos siguiendo los apartados establecidos en las mismas sin hacer una síntesis ni una integración de los datos, a pesar de que era una de las demandas para poder responder al problema. Tienen dificultades para hacer la transposición de un lenguaje científico (como podría ser el de las fichas) a un lenguaje más personal o incluso adaptado a un aula de Primaria. En cualquier caso los resultados muestran que ha aumentado la complejidad del modelo, incorporando las características observadas a partir de las fichas de observación y análisis (hábitat fluvial, bosque de ribera y macroinvertebrados del río).

“Los ríos nacen en las montañas, la zona a la que llamamos curso superior o de gravedad alta ya que hay una inclinación acusada... y hace que el río discorra con velocidad, donde se produce una alta erosión debido a la energía cinética generada... A lo largo del recorrido del río hay aguas subterráneas... los tres procesos que se dan son: erosión, transporte y sedimentación. El río dependiendo de su energía cinética va a romper materiales para luego transportarlos hasta depositarlos en distintos lugares... De esta manera se forman nuevos cauces gracias a las crecidas...”

“En el tramo alto del río, la pendiente y el desnivel del terreno es pronunciada, lo que hace que la velocidad de la corriente sea alta y, por tanto, el

cauce sea estrecho ...impidiendo que haya una gran sedimentación. Las rocas que encontramos son principalmente cantos y gravas”.

-“...un tramo alto del río... con inclinación de las riberas entre 45° y 75° (lo cual significa que se encuentra encajado en la parte más baja del valle) Presenta sedimentos duros como bloques, piedras, cantos y grava los cuales están sueltos ya que carece de arcillas y limos...”

-“... los ríos no solo son el agua que se ve en el caudal sino que también lleva aguas subterráneas, la que se filtra por las porosidades...”

Respecto a los aspectos geológicos hay que destacar que en el modelo inicial estaba muy arraigada la dimensión longitudinal del río (curso alto, medio y bajo), pero es en el modelo final cuando relacionan las características y los procesos erosivos y/o sedimentarios de las distintas zonas con la dimensión transversal (pendiente y profundidad del cauce, existencia de sustrato rocoso, presencia de bloques, cantos rodados, arenas, pendiente de las laderas del valle, etc.) La existencia de aguas subterráneas vinculadas al río o la dimensión temporal es incorporada al modelo final por algo menos de la mitad de los estudiantes (Tabla IV). Es decir, en el modelo final de río todavía hay alumnos que sólo tienen en cuenta el agua “que se ve”, no la subterránea ni el nivel freático tal como han señalado otros autores (Ben-Zvi Assaraf y Orion 2005; Dickerson *et al.*, 2007; González García y Fernández Ferrer, 2012; Gunckel *et al.*, 2012; Márquez y Bach, 2007, Martínez Peña y Gil Quílez, 2014). A pesar de ello, consideramos que el avance es importante puesto que se supera el modelo de río como canal de agua.

Aunque los estudiantes pueden identificar los elementos del río y establecer semejanzas y diferencias entre las diferentes zonas y entre los diferentes ríos, tienen dificultades para predecir cómo reaccionaría cada zona concreta ante una avenida. Sus predicciones son simples y generales, no hay diferencias entre la dinámica de los dos ríos, y no las justifican: “se desbordarían las orillas”, “los campos quedarían cubiertos”, “el agua llegaría a la carretera”, pero no hay explicaciones causales de estas afirmaciones. No hacen referencia a que son episodios normales en la dinámica del río, que se

producen periódicamente. Para ellos significa que se ha intervenido en la dinámica del río, es decir, son problemas provocados por la actuación humana.

Preguntas

Respecto a la propuesta de preguntas sobre el río que podrían plantear los futuros maestros a los alumnos de Educación Primaria, los estudiantes propusieron diversas preguntas. Como señalan Chin y Osborne (2010) formular preguntas permite articular la comprensión que se tiene sobre un tema, en este caso el río, y a los investigadores nos permite inferir el modelo que los estudiantes tienen sobre el río.

Son frecuentes las preguntas declarativas (Tabla V) y en concreto las de introducción que se plantean para conocer las ideas de los alumnos (Osborne y Freyberg, 1991) que corresponden a preguntas centradas en la persona, más que en el conocimiento concreto del tema. Como señala Harlen (citado por Roca *et al.*, 2013) este tipo de preguntas fomenta la participación del alumnado, ya que se pueden responder con las propias ideas y no se pide la respuesta correcta. También plantean preguntas declarativas sobre conceptos geomorfológicos y conocimientos de geografía regional. En las preguntas declarativas no se encuentran diferencias entre las que plantean como futuros maestros y las que suponen que plantearía el alumnado de Primaria.

Sin embargo, son menos numerosas las preguntas descriptivas. En este tipo de preguntas sí que se observan diferencias entre las preguntas del futuro maestro y las que consideran que les plantearía un hipotético alumnado de Primaria. En este último caso (Tabla V) se encuentran preguntas muy concretas sobre mediciones de los parámetros de los ríos (profundidad, longitud, anchura, velocidad de la corriente), pero también hay preguntas que trascienden el modelo de río y lo vinculan con aspectos cotidianos como ¿Un canal es lo mismo que un río?, ¿Cómo llega el agua del río al grifo? Ambas preguntas resultan interesantes y difíciles de catalogar. La primera se podría considerar declarativa, si la respuesta que buscan los futuros maestros es simplemente indicar que no es lo mismo río y canal. Se podrían considerar descriptivas si la demanda se refiere a cómo es un río

TIPOS	%	PREGUNTAS QUE PLANTEAN LOS ESTUDIANTES	PREGUNTAS QUE PLANTEARÍAN LOS NIÑOS
Declarativas	47%	¿Qué ríos conocéis? ¿Cuál es el río más largo del mundo, de Europa y de España? ¿Qué es un meandro? ¿Cuáles son las diferentes partes de un río?	¿Cuántos ríos hay en España? ¿Qué importancia tienen los ríos en la vida de las personas? ¿Cuáles son las diferentes partes de un río? ¿Qué es una mota?
Descriptivas	25%	¿Cómo es el entorno del río, montañoso o llano? ¿Qué arrastra el río a su paso? ¿En qué parte el río erosiona? ¿Qué usos tiene el agua del río? ¿Cuándo llevan los ríos más agua?	¿Qué profundidad tienen los ríos? ¿Cuánto mide un río? ¿Qué hay en un río? ¿Un canal es lo mismo que un río? ¿Cómo llega el agua del río al grifo?
Causales	27%	¿Por qué hay inundaciones? ¿Por qué hay zonas con muchas piedras en el fondo y otras que solo hay arena? ¿De qué depende la velocidad de la corriente? ¿Cómo se ha formado un valle? ¿Cómo se han formado las islas del río? ¿Por qué hay vegetación cerca de los ríos?	¿Por qué se mueve (fluye) el agua? ¿Por qué el agua no se acaba? ¿Por qué unos ríos van más rápido que otros? ¿Por qué los ríos no van rectos? ¿Por qué hay árboles al lado de un río?

Tabla V. Tipos de preguntas sobre los ríos que propondrían los futuros maestros a sus alumnos y las que consideran que sus alumnos les podrían plantear.

y cómo es un canal, o a que el agua llega al grifo a través de canales y tuberías. Serían causales si las respuestas que buscan es por qué no es lo mismo un río que un canal o qué condiciones se deben dar para conseguir que le agua del río llegue al grifo. En este caso se han considerado descriptivas porque los estudiantes señalaron que las preguntas les permitirían indicar las diferencias en el primer caso e indicar el recorrido del agua en el segundo.

Otro tipo de preguntas que hacen los estudiantes son las causales (Tabla V). Son menos frecuentes y tienen que ver con la dinámica y con aspectos del río que aparecen de forma recurrente en los medios de comunicación. En este caso también se observan diferencias entre las preguntas que formularían los maestros en formación y las que harían los niños. Dentro de las que formularían los niños, como en el caso anterior, se trata de preguntas que podríamos considerar menos académicas y resultan más interesantes desde el punto de vista de la enseñanza que las preguntas de los futuros maestros, ya que pueden promover en el alumnado la indagación científica sobre el tema. Se enmarcarían dentro de las preguntas que Márquez *et al.* (2004) definen como preguntas mediadoras, es decir, aquellas que están planteadas desde una visión dinámica, focalizadora y escalar, y se podrían formular con la finalidad de orientar el proceso de modelización del alumnado, en la línea de las que proponen del Carmen y Pedrinaci (1997): ¿De dónde viene el agua de este torrente? ¿Qué hace que se mueva?, ¿Cómo han llegado hasta aquí los cantos y arenas que vemos en la orilla?

Los estudiantes plantean preguntas poco variadas, o son preguntas para introducir el tema o preguntas descriptivas. Sin embargo, no las plantean con demandas diversas: declarativas, descriptivas y causales, ni organizadas en secuencias de enseñanza: introductorias, de desarrollo, de aplicación de conocimientos. El tipo de preguntas refleja su modelo de río y hace referencia al significado de conceptos utilizados, partes del río, cuestiones sobre la dinámica fluvial, uso de los ríos y a los organismos que habitan en ellos. No proponen cuestiones novedosas o creativas acerca de aspectos del río o de su gestión, como por ejemplo las planteadas al inicio de este trabajo: ¿Qué problemas plantea el trasvase de agua entre cuencas?, ¿Qué consecuencias originaría el dragado del río?, ¿y encauzarlo?, aspectos que se discutieron durante la excursión y en el aula, y que incluso aparecen en los medios de comunicación, pero no se contemplaban específicamente en las fichas de observación.

Posturas respecto a los clichés

En la tabla VI se recoge el grado de acuerdo de los estudiantes con cada uno de los clichés antes mencionados. Los porcentajes claramente de acuer-

	A	B	C
De acuerdo	23%	15%	18%
De acuerdo con matizaciones	41%	42%	64%
En contra	36%	36%	18%
No contestan	-	7%	-

Tabla VI. Resultados de las respuestas de los estudiantes sobre los clichés.

do o claramente en contra no son demasiado altos. Sin embargo, hay un porcentaje muy elevado de respuestas que se muestran de acuerdo con matizaciones. Es decir, no aceptan totalmente los tópicos establecidos sino que plantean algunas razones en contra en las que aluden a elementos que aparecen en la tabla IV, lo que supone una cierta consistencia del modelo construido frente a las ideas expresadas en los clichés.

En el caso del cliché **a** (el río como un canal) las matizaciones y los argumentos en contra de los estudiantes hacen referencia a los elementos del río, y en cierta medida a la dinámica, es decir a las variaciones en el caudal, el cauce y su pendiente, la llanura de inundación, los procesos de erosión y sedimentación, la importancia del clima,...

“...lo fundamental es el concepto de corriente continua de agua, pero... el río no es como una tubería, sino que depende de factores como la lluvia, pendiente,... la cantidad de agua que recibe el río dependerá en gran parte del ciclo del agua...”

En el cliché **b** (la necesidad de “limpiar” los ríos para evitar inundaciones) las razones en contra que plantean están relacionadas con la dinámica fluvial, señalan que las crecidas se producen periódicamente, que habría que evitar las construcciones en zonas inundables,.... Estos dos clichés tienen unos porcentajes muy semejantes y hay un número elevado de estudiantes que están de acuerdo con matizaciones.

“No estoy de acuerdo del todo, ya que los árboles, la vegetación y las piedras forman parte del río. Aunque sí es verdad que si se limpiaran las orillas de tal manera que después se arreglara el canal para prevenir las subidas y evitar catástrofes. También habría que evitar la construcción cerca de los cauces del río, como de campings o de viviendas...”

Manifiestan en sus respuestas una confrontación entre argumentos que hacen referencia a la dinámica fluvial, más académicos, y argumentos que hacen referencia a las creencias sociales en las que se basan estos clichés: *“... la naturaleza está en continuo cambio y conlleva procesos que alteran la limpieza del río... El principal motivo de las inundaciones son la falta de recursos humanos para la construcción de motas escolleras, azudes,...”*

Por último, el cliché **c** (hacer parques fluviales con escolleras, carriles bici,...) es la afirmación sobre la que menos argumentaciones sólidas basadas en el modelo de río construyen.

“... La construcción de carriles bici y plantación de árboles pensamos que es una forma de hacer más atractivo el río y te obliga a cuidar más esa zona manteniendo dicho ecosistema en buenas condiciones tanto estéticas como ambientales. Las escolleras en épocas de crecidas evitarán que el caudal se salga del cauce”

En este caso el modelo científico tiene menos peso que las cuestiones de tipo social, lúdico, paisajístico,... Se podría afirmar que el alumnado responde bien a cuestiones que únicamente impliquen razonamientos científicos (elementos del modelo de río y dinámica fluvial), pero cuando tienen que incorporar aspectos sociales las razones económicas, ideológicas, o las emociones y creencias, tienen más peso (Ibarra Murillo y Gil Quílez, 2009; Simonneaux y Simonneaux, 2009)

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos señalan que las fichas permiten realizar observaciones sistemáticas de los distintos elementos que componen el modelo de río, que además pueden cuantificarse y, por tanto, permiten comparar entre diferentes tramos y diferentes ríos. Hay que tener en cuenta que la observación es una práctica compleja, muy relacionada con el conocimiento disciplinar (no es lo mismo observar rocas, que árboles o que un ecosistema determinado). Así mismo, este tipo de actividades fomenta el trabajo cooperativo, porque los estudiantes tenían que llegar a un consenso sobre los datos de las fichas de observación del trabajo de campo (por ejemplo, deben llegar a un acuerdo sobre el porcentaje de bloques, gravas o arenas que se observa en el lecho del río) y en las presentaciones de los trabajos. Otro de los aspectos trabajados es la comunicación y en particular la argumentación ya que se valora no solo los conocimientos científicos sino su aplicación ante problemas cotidianos como las afirmaciones de los clichés. Es decir, se consideran las actitudes de los alumnos frente a problemas ambientales, aspecto clave en la educación ambiental.

Los estudiantes, al final del proceso, construyen un modelo de río más elaborado que el inicial, con más elementos y más relaciones entre ellos. Pero las interrelaciones continúan siendo más lineales que en red, por ejemplo relacionan los rápidos con el sustrato rocoso y con la mayor presencia de macroinvertebrados, pero les cuesta relacionarlo con la existencia o no de orillas amplias, con capacidad para sustentar vegetación de ribera, etc., lo que dificulta la construcción del modelo de río como un sistema (Gil Quílez y Martínez Peña, 2013, Sexton, 2012). Raia (2008), de manera similar, encontró que los estudiantes no pudieron reconocer los sistemas dinámicos complejos y en su lugar utilizaban explicaciones lineales monocausales, tenían problemas para considerar las interacciones de los componentes en un sistema. Esta autora observó que, con el tiempo, los estudiantes continúan utilizando explicaciones lineales, incluso después de la instrucción y propone abordar de forma específica la idea de sistema. El río es un sistema complejo y sería necesario proponer trabajos donde se aborde el estudio de diferentes sistemas, ya que se trata de una idea que subyace a lo largo de toda la enseñanza en relación con contenidos diversos.

Sería necesario continuar trabajando en esta línea, puesto que hay algunas interacciones que no se han establecido con claridad, por ejemplo las aguas subterráneas que son mencionadas por un cierto porcentaje (42%), pero su papel en relación con los ríos queda indefinido, lo que implica una dificultad para la comprensión de la dinámica de las mismas (Márquez y Bach, 2007). Tampoco ofrecen una visión dinámica de los procesos, hablan de erosión, transporte y sedimentación, pero no lo relacionan con la pendiente de las riberas, con el tipo de roca, con la existencia o no del bosque de ribera, con la turbidez de las aguas, con los organismos que las habitan,... Es decir, los estudiantes no han expresado una comprensión profunda de las interacciones

de los múltiples procesos implicados en un sistema complejo como es un río, tal y como señala Sexton (2012). La comunicación verbal o escrita puede no ser suficiente para expresar el conocimiento que el alumnado tiene sobre el tema, por lo que la utilización de dibujos, gráficos e incluso maquetas ayudaría a superar este problema (Martínez Peña y Gil Quílez, 2014)

Habría que utilizar ejemplos concretos de actuaciones en los que estén implicados distintos elementos que no han mencionado para tengan que utilizarlos, por ejemplo ¿cuál es el efecto del azud, construido en Zaragoza en 2008, en el transporte y sedimentación de gravas y limos?, ¿cómo afecta a las crecidas? y ¿a las aguas subterráneas? Ante las inundaciones originadas por el río Ebro en febrero de 2015, ¿sería una solución el encauzamiento o el dragado del río?, ¿cómo afectaría a la erosión del río?, ¿cómo afectaría al bosque de ribera?. Es decir, utilizar las noticias que frecuentemente aparecen en los medios de comunicación para trabajar los aspectos del modelo de río integrados en los aspectos socioeconómicos. El utilizar noticias de la actualidad permite tanto que los alumnos respondan a las preguntas antes mencionadas como que se sientan motivados a plantear nuevas preguntas por tratarse de temas próximos a su realidad cotidiana.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo forma parte del proyecto financiado por la Dirección General de Investigación, MEC (SE-J2007-65947/EDUC). Grupo Consolidado de Investigación Aplicada "Beagle", financiado por el Departamento de Ciencia, Tecnología y Universidad del Gobierno de Aragón y el Fondo Social Europeo.

BIBLIOGRAFÍA

- Archer, A., Arcá, M. y Sanmartí, N. (2007). Modelling as a teaching learning process for understanding materials: a case study in primary education. *Science Education*, 91, 398-418.
- Bach, J. y Brusi, D. (1988). Reflexiones y recursos sobre la didáctica del ciclo del agua. *Henares Revista de Geología*, 2, 223-232.
- Bach, J. (2001). Los recursos hídricos y el sistema cuenca. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 27, 69-80.
- Bach, J. (2008). El riesgo de inundación: una propuesta de tratamiento. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 55, 43-55.
- Ben-Zvi Assaraf, O. y Orion, N. (2005). A study of junior high students' perceptions of the water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53, 366-373.
- Carmen, L. del y Pedrinaci, E. (1997). El uso del entorno y el trabajo de campo, en Carmen, L. del (coord.): *La enseñanza y el aprendizaje de las ciencias de la naturaleza en la educación secundaria*. Barcelona: Horsori.
- Chin, C. y Osborne, J. (2010). Students' questions and discursive Interaction: their impact on argumentation during collaborative group discussions in science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47.7, 883-908.

- Dickerson, D., Penick, J.E., Dawkins, K., y Van Sickle, M. (2007). Groundwater in science education. *Journal of Science Teacher Education*, 18, 45-62.
- Dove, J.E., Everett, L.A. y Preece, P.F.W. (1999). Exploring a hydrological concept through children's drawings. *International Journal of Science Education*, 21, 485-497.
- Ecostrimed (2012). Ecostrimed protocol: Bioassessment to define a river's ecological status (Último acceso el 12 de abril de 2015, desde <http://geographyfieldwork.com/ECOSTRIMED%20Protocol%20Procedure.htm>)
- Endreny, A.H. (2010). Urban 5th graders conceptions during a place-based inquiry unit on watersheds. *Journal of Research in Science Teaching*, 47, 501-517.
- Erduran, S. and Jiménez-Aleixandre, M. P. (eds.) (2007). *Argumentation in Science Education*. Springer 2007.
- Gagne, R.M. (1985). *The Conditions of Learning and Theory of Instruction*. New York: CBS College Publishing.
- Gil Quílez, M.J. y Martínez Peña, M.B. (2012). Rivers: something more than just streams of water that arise in the mountains and flow into the sea. *9th Conference of ERI-DOB: European Researchers in Didactics of Biology*. Berlín.
- Gil Quílez, M.J. y Martínez Peña, M.B. (2013). Conocer lo pequeño para comprender lo grande. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 73, 36-43.
- Gil Quílez, M.J. y Martínez Peña, M.B. (2014). Construcción del modelo de río: paso previo a la reflexión sobre gestión fluvial. En: De las Heras Pérez, M. A.; Lorca Marín, A. A.; Vázquez Bernal, B.; Wamba Aguado, A. A. y Jiménez Pérez, R. (Coord.). *Investigación y transferencia para una educación en ciencias: un reto emocionante*. Huelva: Universidad de Huelva Publicaciones.
- Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (Eds.). (2000). *Developing Models in Science Education*. Dordrecht: Kluwer Academic Press.
- González García, F. y Fernández Ferrer, G. (2012). Potencialidades y limitaciones de las analogías elaboradas por estudiantes de magisterio para representar las aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 20, 3, 229-238.
- Grup Complex UAB: <http://serveis.uab.cat/cit/en/content/grup-de-recerca-c%3%B2mplex> (consultado el 07 de mayo de 2015).
- Gunckel, K.L., Covitt, B.A., Salinas, I. y Anderson, C.W. (2012). A Learning Progression for Water in Socio-Ecological Systems. *Journal of Research in Science Teaching*, 49, 7, 843-868.
- Harrison, A.G. y Treagust, D.F. (2000). A typology of school science models. *International Journal of Science Education*, 22, 1011-1026.
- Ibarra Murillo, J. y Gil Quílez, M.J. (2009). Uso del concepto de sucesión ecológica por alumnos de Secundaria: la predicción de los cambios en los ecosistemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 27, 1, 19-32.
- Marcén, C. (2010). *El agua, argumento educativo en la Educación Obligatoria y en el sistema social*. Tesis Doctoral. Dpto. Geografía y Ordenación del Territorio, Universidad de Zaragoza.
- Marques, L., Leite, A., Praia, J. y Futuro, A. (1995). Trabajo experimental: contribuciones para la comprensión de la dinámica fluvial. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 3, 3, 176-183.
- Márquez, C., Izquierdo, M. y Espinet, M. (2003). La comunicación multimodal en la clase de ciencias: El ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, 21, 3, 371-386.
- Márquez, C. y Bach, J. (2007). Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15, 3, 280-286.
- Márquez, C., Roca, M., Gómez, A.A., Sardà, A. y Pujol, R. M. (2004). La construcción de modelos explicativos complejos mediante preguntas mediadoras. *Investigación en la Escuela*, 53, 71-81.
- Márquez, C. y Prat, A. (2010). Favorecer la argumentación a partir de la lectura de textos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 63, 39-49.
- Martínez Peña, M.B y Gil Quílez, M.J. y Mateo González (2014). Construyendo el modelo de río con estudiantes de magisterio. En: *XVIII Simposio sobre la enseñanza de la geología*. Eds.: J. Sanz, T. Zamalloa, A. Uskola y A. Apraiz. Libro de Comunicaciones. Bilbao, pp. 21-31.
- Martínez Peña, M.B y Gil Quílez, M. J. (2014). Drawings as a Tool for Understanding Geology in the Environment. *Journal of Geosciences Education*, 62, 4, 701-713.
- Odom, A.L. y Bell, C.V. (2011). Distinguishing among declarative, descriptive and causal questions to guide field investigations and student assessment. *Journal of Biological Education*, 45, 4, 222-228.
- Osborne R. y Freyberg, P. (1991). *El aprendizaje de las ciencias*. Madrid: Narcea.
- Pedrinaci, E. (2012). Trabajo de campo y aprendizaje de las ciencias. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 71, 81-89.
- Peñas, V. y Massip, I. (2011). *Destejiendo tópicos del agua*. Bilbao: Solidaridad Internacional / Fundación Tomás y Valiente.
- Pickett, S., Kolasa, J. y Jones, C.J. (1994). *Ecological understanding*. San Diego: Academic Press.
- Raia, F. (2008). Causality in complex dynamics; a challenge in earth systems science education, *Journal of Geoscience Education*, 56, 81-94.
- Roca, M., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2013). Las preguntas de los alumnos: Una propuesta de análisis. *Enseñanza de las Ciencias*, 31, 1, 95-114.
- Sanmartí, N. y Jorba, J. (1995). Autorregulación de los procesos de aprendizaje y construcción de conocimientos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 4, 59-77.
- Sanmartí, N. y Márquez, C. (2012). Enseñar a plantear preguntas investigables. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 70, 27-36.
- Schwartz, C., Reiser, B., Davis, E., Kenyon, L., Archer, A., Fortus, D., Schwartz, Y., Hugh, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modelling: Making scientific modelling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46, 6, 632-654.
- Sexton, J.M. (2012). College Students' Conceptions of the Role of Rivers in Canyon Formation. *Journal of Geoscience Education*, 60, 168-178.
- Shepardson, D., Wee, B., Priddy, M., Schellenberger, L. y Harbor, J. (2009). Water transformation and storage in the mountains and at the coast: Midwest students' disconnected conceptions of the hydrologic cycle. *International Journal of Science Education*, 31, 1447-1471.
- Simonneaux, L. y Simonneaux, J. (2009). Students' socio-scientific reasoning on controversies from the viewpoint of education for sustainable development. *Cult. Stud. of Sci. Educ.* 4, 657-687. DOI 10.1007/s11422-008-9141-x. ■

Este artículo fue recibido el día 20 de octubre y aceptado definitivamente para su publicación el 3 de diciembre de 2014.