

Potencialidades y limitaciones de las analogías elaboradas por estudiantes de magisterio para representar las aguas subterráneas

Potentialities and limitations of the analogies made by primary teacher students to represent groundwater

FRANCISCO GONZÁLEZ GARCÍA¹ Y GRACIA FERNÁNDEZ FERRER²

¹Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Granada, Campus de Cartuja, 18071, Granada. pagoga@ugr.es

²IES Alonso Cano, Consejería de Educación, Junta de Andalucía, c/Calle de Blas Infante, 28, 18650, Dúrcal, Granada. geagr@hotmail.com

Resumen: En este trabajo estudiamos la eficacia de la invención de analogías como forma de abordar las representaciones de las aguas subterráneas. Para ello se correlacionan los datos obtenidos a través de otras técnicas, como el cuestionario cerrado y la representación gráfica, en el estudio de los conocimientos de estudiantes de magisterio en materia del agua subterránea. Con ello se pretende remediar la problemática del diseño de instrumentos de evaluación adecuados en temáticas que requieren un alto nivel de abstracción como es el caso del agua subterránea. Las analogías se mostraron como una técnica de gran ayuda. En el uso conjunto de los diversos instrumentos se puso en evidencia el escaso nivel de conocimientos de los estudiantes de magisterio en la temática de las aguas subterráneas y sus necesidades formativas sobre el tema.

Palabras clave: Enseñanza de la geología, enseñanza de la hidrogeología, formación del profesorado, modelos mentales.

Abstract: *In this work we studied the effectiveness of analogies as a way of addressing representations of underground waters. The data collected by means of other techniques, such as closed questionnaires and graphic representations, are correlated when studying the knowledge of student teachers on the subject of underground water. We address the problem of designing appropriate assessment tools on topics that require a high level of abstraction such as groundwater. The use of analogies was certainly helpful as an assessment technique. The limited knowledge and the training needs about the groundwater of the primary student teachers have been evidenced by different research tools.*

Keywords: *Earth sciences education, hydrogeology education, teacher training, mental models.*

INTRODUCCIÓN: MARCO TEÓRICO Y OBJETIVOS

Desde el punto de vista de la psicología cognitiva, “es imposible comprender algo sin activar alguna idea o esquema en la que asimilar la nueva información” (Poza, 1996). Si no se dispone de esquemas o ideas de un determinado dominio, lo que se hace es activar por analogía o similitud otras correspondientes a dominios diferentes. Al idear un sujeto una analogía, debe encontrar una similitud entre la situación presente y la fuente de analogía. Hay diferentes trabajos sobre el uso de las analogías en la comprensión de conceptos científicos (Acevedo,

1990; Oliva et al., 2001; Oliva, 2003 y 2005). Aunque son poco comunes los que utilizan las analogías como técnica de recogida de datos en el estudio de los esquemas de conocimiento.

Para idear una analogía, los estudiantes se centrarán en los rasgos que suponen esenciales y que son similares entre la situación a explicar y la fuente de analogía. Estos rasgos pueden estar mediatizados por lo que el estudiante considera oportuno en un determinado contexto de enseñanza, pudiendo ser diferentes según el tipo de alumnado al que vaya dirigida la analogía ideada. Al margen de esto, también estarán íntimamente ligados a los esque-

mas de conocimiento sobre la situación a explicar. Es esta idea la que nos lleva a experimentar con las analogías como posible técnica de recogida de datos (Fernández-Ferrer, 2009)

El diseño de instrumentos de evaluación apropiados es uno de los retos más importantes con que se encuentra la investigación didáctica en general. Este hecho se hace más evidente en temáticas ocultas a la vista y que requieren para su entendimiento un nivel de abstracción muy alto, como es el caso del agua subterránea (Ben-zvi-Assarf y Orion, 2005). En este sentido, Dickerson et al. (2007) señalan la problemática de evaluación de ideas con instrumentos adecuados como uno de los cinco problemas con el que se encuentra el agua subterránea en la enseñanza, junto a otros como, la escasa presencia de sus contenidos dentro de la enseñanza curricular del ciclo del agua (Ben-zvi-Assarf y Orion, 2005; Dickerson y Callahan, 2006), la existencia de esquemas de conocimiento erróneos en la población (Yus, 1994; Silva y Amador, 2002; Dickerson y Dawkins, 2004; Dickerson et al., 2005; Fernández-Ferrer y González, 2008; Fernández-Ferrer y González, 2010; Fernández-Ferrer et al., 2011), el desconocimiento de las propiedades de los materiales tales como la permeabilidad y la porosidad (Bach y Brusi, 1990; Cortés-García y San Román, 2006; Calvo et al., 2007; Nebot, 2007; De Miguel et al., 2009; Fernández-Ferrer y González, 2008) y la necesidad de dar mayor atención en la enseñanza a las habilidades de razonamiento espacial (Piburn, 1980; Kali y Orion, 1996; Dickerson y Callahan, 2006).

Centrándonos en la primera dificultad, el diseño de instrumentos de evaluación apropiados para la detección de los esquemas de conocimiento, un estudio muestra que los métodos comunes de evaluación, como cuestionarios cerrados sobre los esquemas relativos al agua subterránea utilizan un vocabulario quizá demasiado específico como acuífero, nivel freático, etc., que puede ocultar concepciones erróneas al no tener adquiridos tales conceptos (Dickerson y Dawkins, 2004). Como alternativa, Beilfuss (2004) estudia los esquemas de conocimiento por medio de entrevistas y de dibujos, obteniendo resultados más procedentes.

En cuanto al estudio de los modelos mentales, éstos son en sí mucho más complejos que el planteamiento tradicional que se realiza en el estudio de las ideas previas. Según Márquez y Bach (2007), “si se quieren conocer los modelos tendrán que inferirse a partir de su expresión a través de algún sistema de representación (lenguaje verbal-oral o escrito; lenguaje visual, lenguaje matemático, lenguaje gestual,...)”. En este sentido, estos autores hacen un estudio de aproximación a los modelos mentales de los estudiantes a través del modo visual y verbal, utilizando los diagramas que hacen sobre el ciclo del agua.

Por su parte, Rodríguez (1997) apunta dos aspectos importantes en la tarea de detectar los

modelos mentales de los sujetos: la necesidad de utilizar varios instrumentos de recogida de datos, con lo que las investigaciones deben adquirir un carácter menos descriptivo y más interpretativo, y la problemática de encontrar categorías comunes al comparar los datos que genera un sujeto a través de instrumentos diversos (diálogos, fichas, dibujos).

En el XVII Simposio sobre la Enseñanza de la Geología se presentó una comunicación sobre la posibilidad de utilizar las técnicas de invención o creación de analogías en la detección de modelos mentales sobre la localización y funcionamiento del agua subterránea (Fernández-Ferrer y González, 2012). En el presente trabajo completamos dicha investigación, atesorando más datos y pudiendo mostrar de este modo, una correlación más precisa de los mismos. La interpretación de estos resultados se discutirá desde la perspectiva teórica de lo se entiende por aprendizaje y de la naturaleza de los modelos mentales de los estudiantes.

Los resultados pueden favorecer, por un lado, la determinación de un diagnóstico de la situación actual de los universitarios en la materia del agua subterránea, que pueda poner en marcha, en su caso, medidas de mejora en el proceso de enseñanza y aprendizaje, aunque probablemente habría que empezar desde la enseñanza primaria (Calvo-Hernández et al., 2004; Cortés-García y San Román, 2006). Por otro lado, estaremos más cerca de poder prescribir, si es viable, la invención de analogías como técnica de evaluación de los conocimientos de los sujetos, en fenómenos del mundo natural poco visibles a la observación directa.

METODOLOGÍA

El estudio, contextualizado en una tesis doctoral (Fernández-Ferrer, 2009), se realizó durante los años 2007 y 2009, a estudiantes de diferentes carreras de la Universidad de Granada (España). Se utilizaron como técnicas de recogida de datos el cuestionario cerrado (con posibilidad de respuesta limitada), el análisis de dibujos y la invención de analogías, que más adelante se plantean como tareas de los estudiantes.

El cuestionario cerrado y el análisis de dibujos lo cumplimentaron un total de 506 universitarios (319 estudiantes de carreras científicas y 187 estudiantes de Magisterio-Educación Primaria). El estudio detallado y centrado en los universitarios de carreras científicas (Biología, Ciencias Ambientales, Geología y Química) viene recogido en Fernández-Ferrer y González (2010). En el presente trabajo mostramos los resultados obtenidos entre los estudiantes de Magisterio, segundo curso de la Diplomatura de Educación Primaria, de los cuales un 90% proceden de bachilleratos de ciencias sociales y humanidades, por lo que su formación en ciencias es básica.

El cuestionario cerrado fue contestado por 187 estudiantes de Magisterio, de los cuales 181 cumplieron la prueba de análisis de analogías y 107 completaron un dibujo representativo del ciclo del agua. Con estas tres técnicas se favoreció la práctica de la correlación de los datos obtenidos entre ellas. Destacamos que los estudiantes ya conocían el uso de las analogías como herramienta didáctica, teniendo un cierto grado de destreza en el uso del símil, al ser trabajada durante su formación en la asignatura de Ciencia de la Naturaleza y su Didáctica (segundo curso de la Diplomatura de Magisterio Educación Primaria).

De forma secuencial exponemos a continuación las tres tareas que se plantearon a los estudiantes, junto a la forma de analizar los resultados. Al realizar el análisis se ha procedido a categorizar los modelos identificados, ordenándolos de las formas más simples a más complejas. Junto a la denominación del modelo se realiza una numeración dando un número mayor al más complejo.

Tarea 1. Cumplimentación de un cuestionario cerrado.

Los ítems del cuestionario se inspiraron en los contenidos de campos epistemológicos diferentes, como el conocimiento científico histórico y actual, así como las investigaciones previas sobre los esquemas de conocimiento en materia del agua subterránea. El cuestionario, tras un estudio piloto previo, quedó configurado por tres preguntas de respuesta cerrada, cuyos ítems coinciden con las categorías de las tres variables estudiadas: 1) concepto de acuífero, 2) localización o emplazamiento de las aguas subterráneas y su capacidad de movimiento o flujo y 3) procedencia de las aguas subterráneas.

Este cuestionario fue ya aplicado a estudiantes de carreras científicas (Fernández-Ferrer y González, 2010). En dicho trabajo se interpretaron una serie de posibles modelos de localización y funcionamiento del agua subterránea, tras la triangulación de las variables del cuestionario. Considerando el concepto de acuífero, su localización, movimiento y procedencia de las aguas se identifican los modelos que se describen a continuación y que coinciden con los descritos por Fernández-Ferrer y González (2010). En el presente trabajo, además, procedemos a categorizarlos desde formas más simples a más complejas. Para ello hemos considerado las formas más simples aquellos modelos que describen las aguas subterráneas con formas similares a las aguas superficiales (Tipo 1, 2 y 3); los que las describen como una combinación de lo anterior junto a la presencia en fisuras y poros de las rocas, sin o con movimiento (Tipo 4 y 5). Los modelos más complejos representan a las aguas subterráneas solo en poros y fisuras de los materiales terrestres, sin o con movimiento (Tipo 6 y 7).

Los modelos, en complejidad creciente, son:

a) Modelo “Incongruente” (Tipo 0): corresponde a los casos que contestan de modo incoherente o

incongruente a las diferentes cuestiones relativas a las variables de triangulación, pudiendo por ejemplo afirmar la existencia de ríos subterráneos en una cuestión y negarla en otra.

b) Modelo “Lago subterráneo” (Tipo 1): el agua está únicamente en lagos, en algunos casos alojados en cuevas, donde no hay movimiento. Los lagos se forman por el vapor interior de la tierra o del mar a través de sumideros que la succionan o por infiltración de precipitaciones.

c) Modelo “Río subterráneo” (Tipo 2): el agua está únicamente en ríos o conductos subterráneos por los que fluye. La procedencia del agua puede ser marina, a través de conductos subterráneos o infiltración de precipitaciones.

d) Modelo “Lago y río subterráneo” (Tipo 3): el agua está únicamente alojada en lagos subterráneos, alojados en cuevas donde el agua está estancada, así como ríos que discurren por conductos. La procedencia del agua puede ser marina, vapor interior o precipitaciones.

e) Modelo “Estancada en poros y río subterráneo” (Tipo 4): el agua se aloja en los poros y fisuras de las rocas, y para explicar el movimiento del agua hacia el exterior de este embalsamiento se recurre a la existencia de ríos subterráneos por los que el agua puede circular.

f) Modelo “Lago y movimiento en poros” (Tipo 5): el agua está en lagos pero se mueve hacia y desde algún lugar, negando la existencia de ríos subterráneos para explicar el movimiento, y utilizando para ello los poros y fisuras de las rocas. La procedencia del agua es el vapor interior terrestre o la infiltración de las precipitaciones.

g) Modelo “Estancada en poros” (Tipo 6): el agua está estancada en los poros y fisuras de las rocas, no habiendo salidas. La procedencia puede ser infiltración de las precipitaciones o del mar a través de sumideros que la succionan.

h) Modelo “Fluyendo en poros” (Tipo 7): el agua se aloja en los poros y fisuras de formaciones geológicas llamadas acuíferos, donde se mueve desde zonas de recarga a zonas de descarga, a través de los poros y fisuras de las rocas. La procedencia es la infiltración por las precipitaciones. Es el modelo más próximo al aceptado por la comunidad científica para explicar la localización y flujo de las aguas subterráneas.

Los modelos Tipo 1, 2 y 3 (Lago subterráneo, Río subterráneo y Lago y río subterráneo) coinciden con los descritos por Yus (1994) en sus trabajos pioneros sobre la circulación freática.

Tarea 2. Dibujo del ciclo del agua

Se solicitó a los estudiantes realizar un dibujo lo más detallado posible sobre el ciclo del agua, para observar la representación que hacen, en su caso, del agua subterránea.

El análisis de los dibujos se realizó en base a los modelos establecidos por Márquez y Bach (2007),

que constituyen una secuencia evolutiva desde el Tipo 1 al 6, desde la sencillez y parcialidad a lo complejo y global sobre las representaciones del ciclo del agua, y que son definidos teniendo en cuenta los componentes espaciales (almacenes de agua en la naturaleza) y dinámicos (flujos de agua o procesos) del mismo.

En la descripción de los modelos, se puede hacer una diferenciación entre los que no incluyen el agua subterránea en sus representaciones (Tipo 1, 2 y 3) y los que sí (Tipo 4, 5 y 6). El primer grupo recoge esquemas no cíclicos (Tipo1), atmosféricos (Tipo 2) y superficiales (Tipo 3). En el segundo grupo la diferenciación entre modelos se hace según haya recarga y/o descarga entre el medio subterráneo y el superficial. De este modo el Tipo 4 (de circulación subterránea) representa descarga pero no recarga, el Tipo 5 (reserva independiente) puede esquematizar descarga pero no recarga y el Tipo 6 (integrador) recoge tanto recarga como descarga.

Tarea 3. Invención de Analogías

Se les planteó a los estudiantes la siguiente cuestión abierta: *¿Cómo harías para explicar por medio de un símil la existencia y las formas de las aguas subterráneas?*

El análisis de las analogías se hizo siguiendo los modelos recogidos por los autores del presente trabajo en la comunicación presentada en el XVII Simposio sobre la Enseñanza de la Geología (Fernández-Ferrer y González, 2012). Dichos modelos se han categorizado y se presenta una tipología de analogías que se ha clasificado y numerado desde las formas más simples a las más complejas. Se describen a continuación y se muestran transcripciones de ejemplos característicos dados por estudiantes de magisterio.

Tipo A1 o “Tipo Depósito”: supone la localización del agua subterránea en un depósito hueco, procedente de la infiltración pero sin salida al exterior. Para explicar la infiltración se utiliza un colador o esponja, que son instrumentos porosos y permeables. En cambio, el agua tras pasar por ellos cae a un bol, cubo o vaso, adaptando la forma del depósito y representando al agua subterránea. No introducen ningún mecanismo de salida o de movimiento dentro del reservorio.

- “Utilizaría un vaso, un colador, tierra y una jarra de agua. Se cogería el vaso y se le colocaría el colador encima del vaso. Al colador le añadimos tierra, y a continuación, llenaría la jarra de agua y la vertería encima de la tierra. Como consecuencia la tierra absorbería el agua quedando ésta depositada en el fondo del vaso. Esa agua depositada representaría las aguas subterráneas”
- “Utilizando un cubo, una esponja y una botella. Para ello voy a introducir la esponja en el cubo y voy a ir echándole agua de la botella mencionada. De manera que el agua se vaya filtrando a

través de la esponja y llegue al fondo del cubo. De esta manera el agua que se va al fondo sería las aguas subterráneas”.

Tipo A2 o “Tipo Conductos”: hace referencia exclusivamente al movimiento del agua en el interior de la tierra a través de conductos huecos. Tales conductos son representados por venas, alcantarillas, pasillos, etc.

- “Una atracción de un parque acuático y los sistemas de cuevas y galerías que forman las aguas subterráneas. Así podríamos establecer que al igual que en los parques de atracciones acuáticos el agua pasa por una serie de tubos, las aguas subterráneas atraviesan la superficie y se mueven por una serie de canalizaciones”.
- “Compararía con los pasillos de un colegio. Estos se cruzan unos con otros, de igual forma que las aguas subterráneas, siendo uno de ellos el río principal o, en su caso, pasillo principal al que llegan otros secundarios. Todos llevan a la calle, o en el caso de las aguas subterráneas al mar o un lago”.

Tipo A3 o “Tipo Bolsas y conductos”: simula la necesidad de zonas de estancamiento de agua junto a conductos huecos que explican su movimiento.

- “Hacer un símil con los siguientes materiales: un tubo de plástico largo, un embudo, tierra y bolsas de plástico. Las bolsas de plástico se llenarían de agua a través del tubo, previamente enterrados ambos”.
- “Necesitaríamos por ejemplo: una manguera (trasparente mejor), bolsas de plástico y un saco de tierra”.

Tipo A4 o “Tipo Estancada en materiales porosos”: Se centra en la localización del agua subterránea en el interior de los materiales porosos como una esponja, el pan, etc., donde estaría estancada, aunque puede entrar al reservorio por infiltración o salir a través de manantiales o pozos, siendo el mecanismo de este movimiento un ente exterior al mismo.

- “La corteza terrestre es una especie de esponja. Cuando estrujamos una esponja, nos damos cuenta que tiene agua en su interior. Pues algo muy parecido ocurre con la Tierra. En el interior de ella hay agua pero en lugar de apretar como si fuese una esponja para que salga el agua, el hombre utiliza otro tipo de recursos para extraer el agua que hay en el interior de la tierra (acuíferos). Pozos, manantiales, pantanos...son algunas de las más utilizadas. Toda esta agua que se localiza en el interior de la tierra ha sido gracias a la filtración de él, a través de precipitaciones, arroyos y canales”.
- “Un trozo de pan cuando se empapa, que simula el empape de la tierra cuando se moja porque está naciendo el agua. De ahí que se pueden explicar las formas de las aguas subterráneas cuando salen en forma de manantial o pozos, ello se puede explicar estrujando el pan”.

Tipo A5 o “Tipo Moviéndose en materiales porosos”: El agua subterránea se aloja y circula a través de un material poroso y permeable, que puede ser la tierra de una maceta, esponja, etc.

- “Utilizando una esponja. Esta absorbería, filtraría toda el agua a través de sus poros y circularía por toda la esponja”.
- “Por medio de una maceta al regarla, ya que aunque no se vea el agua, está dentro, ya que esta se filtra por la tierra va por debajo, por eso ponemos un plato debajo de las macetas, al igual ocurre con las aguas subterráneas, las cuales, aunque no las veamos van por debajo de la superficie de la tierra y que se filtran por ésta”

Hemos incluido un Tipo A0 o “Analogía Descontextualizada” que agrupa a los casos que no muestran un símil concreto, sino que refieren una explicación del agua, o los que presentándolo no se interpreta ninguna semejanza con el agua subterránea y su funcionamiento.

- “Pondría diferentes utensilios culinarios con agua hirviendo al fuego, los taparía con un colador que deja pasar cierta cantidad de vapor de agua y a una altura más elevada, pondría un cristal para que el vapor de agua se condensara y cayera en forma de gotas; para, de esta manera, poder explicar las aguas subterráneas a la vez que también podríamos explicar el ciclo del agua”.
- “Las aguas subterráneas con el ciclo de la inmigración de los pájaros. Al igual que el ciclo de las aguas subterráneas, los pájaros tienen un lugar de origen, como las bandadas de pájaros que recorren en las diferentes estaciones del año para llegar a su destino. Pues bien, el ciclo del agua tiene un nacimiento y una causa (el mar) o desembocadura, propiamente dicho. Los pájaros (inmigración) va volando hacia su origen hasta que lo logran al igual que las aguas subterráneas”.

Tras la obtención de los datos con las diferentes técnicas, se procede a su correlación a través de tablas de contingencia, utilizando para ello el programa estadístico SPSS 15.

MODELOS DE LOCALIZACIÓN Y FLUJO SUBTERRÁNEO	FRECUENCIA (N=187)	PORCENTAJE
Tipo 0. Modelo Incongruente	40	21,4
Tipo 1. Modelo Lago subterráneo	22	11,8
Tipo 2. Modelo Río subterráneo	8	4,3
Tipo 3. Modelo Lago y río subterráneo	90	48,1
Tipo 4. Modelo Estancada en poros y ríos subterráneos	2	1,1
Tipo 5. Modelo Lago y movimiento en poros	1	0,5
Tipo 6. Modelo Estancada en poros	3	1,6
Tipo 7. Modelo Fluyendo en poros	2	1,1
Casos no válidos (no contestan a alguna cuestión)	19	10,1

RESULTADOS

Tarea 1. Cuestionario

En la Tabla I aparecen las frecuencias y porcentajes de los diferentes modelos. Los modelos más frecuentes son el de Tipo3- “Lago y río subterráneo” y “Tipo 1-Lago subterráneo”, presente en 90 (48,1%) y 22 casos (11,8%), respectivamente. El resto de modelos están representados con porcentajes inferiores al 5%.

Hay un total de 40 estudiantes (21,4%) que se sitúan en el “Tipo 0- Modelo Incongruente” y 19 estudiantes (10,1%) que no respondieron a alguna de las cuestiones por lo que se consideraron casos no válidos, lo que en conjunto supone el 31,5%, casi un tercio de la muestra.

Tarea 2. Análisis de dibujos

A partir del análisis de las representaciones se reconocen todos los modelos propuestos por Márquez y Bach (2007), salvo el Tipo 1 o no cíclico, lo cual indicaría que los estudiantes tienen adquirido el concepto de ciclo aplicado a la hidrosfera.

Los otros dos modelos que no representan el agua subterránea, esto es, el Tipo 2 o “atmosférico” y el Tipo 3 o “superficial”, son utilizados por el 69,1% de la muestra (Tabla II).

Tabla I.-Frecuencias y porcentajes de los diferentes modelos de localización y flujo subterráneo tras la triangulación de las variables del cuestionario.

MODELOS DE REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL CICLO DEL AGUA	FRECUENCIA (N=107)	PORCENTAJE
Tipo 0 Sin modelo clasificable.	3	2,8
Tipo 1 Modelo no cíclico. No hay cierre en el recorrido del agua	0	0
Tipo 2 Modelo atmosférico. Sólo se considera a la atmósfera y al océano	33	30,8
Tipo 3 Modelo de circulación superficial. Sólo se considera la atmósfera, el océano y la zona continental terrestre	41	38,3
Tipo 4 Modelo de circulación subterránea. Se incluye el agua subterránea y su paso hacia el mar pero no muestra infiltración	2	1,9
Tipo 5 Modelo del agua subterránea como reserva independiente. Representa el agua subterránea pero sin ninguna relación con el resto del agua	9	8,4
Tipo 6 Modelo integrador. Muestra la circulación subterránea y los procesos de recarga y descarga	3	2,8
Casos no válidos (no contestan a alguna cuestión)	16	15,0

Tabla II.- Modelos de representación gráfica del ciclo del agua según Márquez y Bach (2007), observados en el presente trabajo entre los alumnos de Magisterio.

Los modelos de representación del ciclo del agua que sí simbolizan la parte subterránea (Tipo 4, 5 y 6) son utilizados por 14 casos, correspondiendo únicamente 3 casos al Tipo 6 o “modelo integrador”, donde sí se dibuja la recarga y descarga.

En la Fig. 1 se reproducen ejemplos de dibujos realizados por los estudiantes de segundo curso de la Diplomatura de Educación Primaria. Se representa un caso para cada uno de los Tipos 2 a 6.

Fig. 1. Representaciones gráficas del ciclo del agua realizadas por estudiantes de segundo curso de Magisterio (Educación Primaria). Se muestra un ejemplo de los Tipos 2 a 6.

Tarea 3. Invención de Analogías

Del análisis de los diferentes registros obtenidos, se interpretaron diferentes tipos de analogías, cuyos criterios de clasificación fueron el material utilizado para la propia construcción del símil y del movimiento o no del fluido en su interior. De este modo, se pudieron establecer correspondencias con los diferentes modelos de Localización y Flujo subterráneo, obtenidos tras la triangulación de las

variables del cuestionario. En la Tabla III se resumen los resultados.

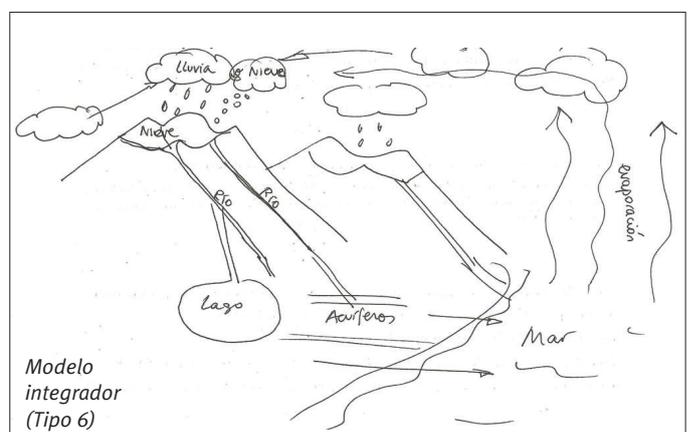
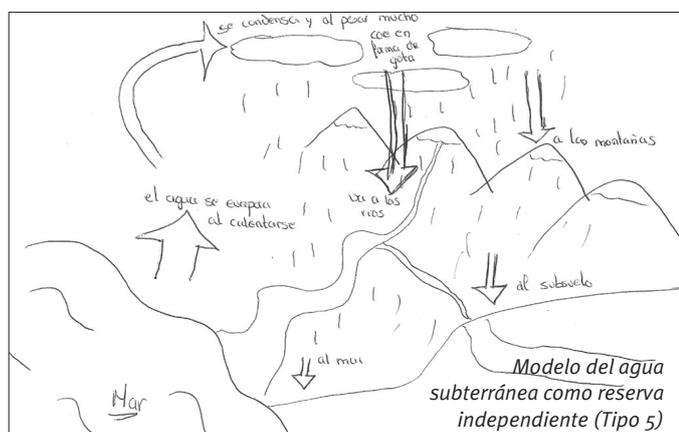
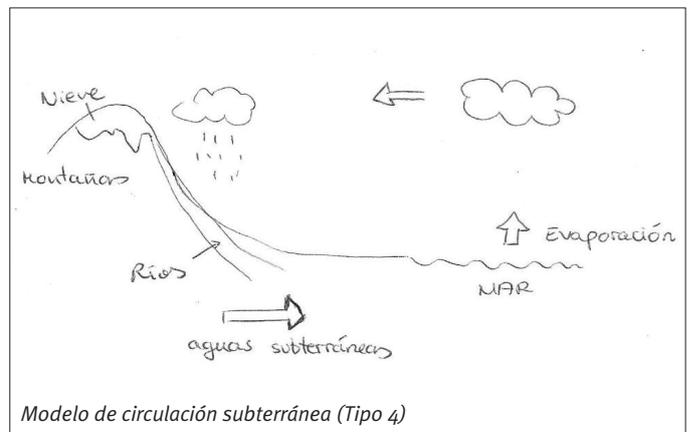
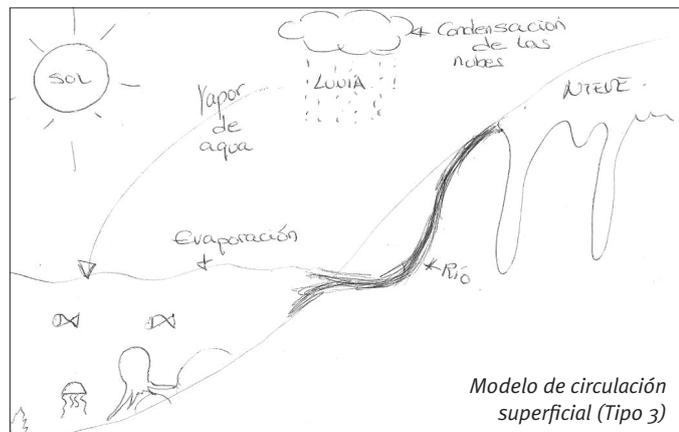
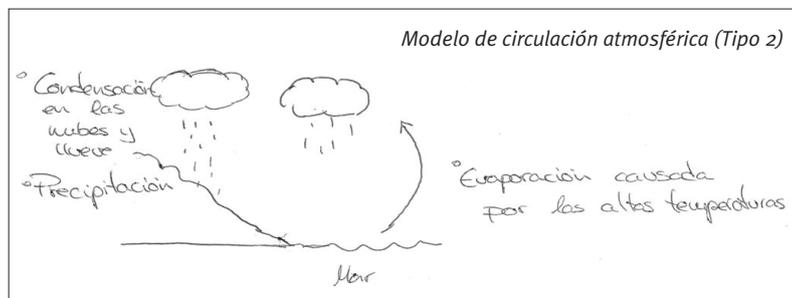
Los tipos de analogías más frecuentes son la Tipo A4 o “Estancada en poros” y la Tipo A2 o de “Conductos” (ambas en torno al 30%). Es destacable que únicamente cinco casos muestran una analogía que refleja un movimiento del agua entre los poros del material.

No se han detectado ninguna analogía que tenga su correspondiente con los modelos de localización y flujo Tipo 4 (Estancada en poros y ríos subterráneos) o Tipo 5 (Lago y movimiento en poros).

Correlación de los datos

Para la correlación de los datos y posterior interpretación, se han realizados tablas de contingencia que relacionan las tareas 1 (cuestionario) y 2 (análisis de dibujos) con la 3 (invención de analogías). En éstas se puede estudiar el grado de consistencia/inconsistencia de los modelos, entendiendo como tal la capacidad de un sujeto de mantener/cambiar de modelo entre las diferentes técnicas de recogida de datos utilizadas.

La tabla IV recoge la correlación entre los modelos obtenidos en la tarea 1 y la tarea 3. En la misma se observa una baja consistencia de los modelos entre la técnica del cuestionario y la invención de analogías, debido a que los universitarios estudiados no mantienen sus ideas sobre la localización y funcionamiento de las aguas subterráneas. Es destacable que los 66 casos que representan a



TIPO DE ANALOGÍA	SIGNIFICADO	MODELO DE LOCALIZACIÓN Y FLUJO	FRECUENCIA (N=181)	PORCENTAJE
A0. Descontextualizada	Sin relación del símil con el agua subterránea	Tipo 0. Sin modelo o incongruente	19	10,5
A1. Depósito	Depósito hueco con entrada y sin salida, donde el agua está en movimiento	Tipo 1. Lago subterráneo	30	16,6
A2. Conductos	Conductos huecos por donde circula el agua subterránea	Tipo 2. Río subterráneo	54	29,8
A3. Bolsas y conductos	El agua estaría estancada en bolsas y circularía por conductos, ambos huecos	Tipo 3. Lago y río subterráneo	16	8,8
A4. Estancada en poros	El agua está estancada entre los poros de un material	Tipo 6. Estancada en poros	57	31,5
A5. Moviéndose en materiales porosos	El agua fluye entre los poros de un material	Tipo 7. Fluyendo en poros	5	2,8

Tabla III.- Correspondencia entre los Tipos de Analogías creadas (columna 1), que se describen brevemente en la segunda columna, y los Modelos de Localización y Flujo subterráneo (columna 3) que se obtienen de la triangulación de las variables 1, 2 y 3 del cuestionario cerrado. La frecuencia y porcentaje de los diferentes tipos de analogías se presentan en las columnas cuarta y quinta, respectivamente.

		MODELOS TAREA 3. INVENCION DE ANALOGÍAS						TOTAL
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	
Modelos Tarea 1. Cuestionario	NV	5	1	0	0	2	2	10
	Tipo 0	1	8	1	3	10	0	23
Modelo de localización y flujo	Tipo1	0	3	2	0	0	0	5
	Tipo2	0	0	1	1	0	0	2
	Tipo3	5	6	26	4	22	3	66
	Tipo4	0	0	0	0	1	0	1
Total		11	18	30	8	35	5	107

Tabla IV. Correlación entre los modelos obtenidos en la Tarea 1 (cuestionario) y la Tarea 3 (invención de analogías). Leyenda: NV (no válido), Tipo 0 (Incongruente), Tipo 1 (Lago), Tipo 2 (Río subterráneo), Tipo 3 (Lago y río subterráneo), Tipo 4 (Estancada en poros y fisuras). Analogías: A0 (Descontextualizado), A1 (Depósito), A2 (Conductos), A3 (Bolsas y Conductos), A4 (Estancada en poros), A5 (Moviéndose en materiales porosos).

través del cuestionario un modelo Tipo 3 (Lagos y ríos subterráneos), no reflejan estas ideas en la invención de analogías, mostrando modelos donde únicamente existen conductos subterráneos por los que viajaría el agua (tipo A2) o introduciendo el modelo de estancamiento en poros, mayoritariamente (tipo A4).

Por otro lado, se aprecia que la mitad de los estudiantes con modelo no válido en el cuestionario, por no contestar a todas las cuestiones, muestran sus ideas a través de la invención de analogías. Además, los estudiantes con modelo incongruente optan por crear analogías tipo depósito o estancada en poros. En ambos casos, no válido e incongruente, la generación de analogías permite paliar las dificultades de la primera técnica al permitir una recogida de más información.

La tabla V recoge la correlación entre los modelos obtenidos en la tarea 2 y la tarea 3. En la misma se observa que los estudiantes que no dibujan el agua subterránea (tipo 0, 2 y 3), que constituyen el 72% aproximadamente, si son capaces de mostrar sus ideas sobre su localización y funcionamiento a través de la invención de analogías.

Los estudiantes que utilizan la representación modelo atmosférico y circulación superficial (tipo 2 y 3) optan en mayor medida por las analogías tipo conducto y estancada en poros (A2 y A4), aunque aparecen representadas todos los tipos de analogías. Es destacable que los tres estudiantes que realizan una representación gráfica del modelo integrador no coinciden entre si en el modelo de analogía realizado y ninguno de ellos realiza una analogía tipo moviéndose en materiales porosos (A5).

		MODELOS TAREA 3. INVENCION DE ANALOGÍAS						TOTAL
		A0	A1	A2	A3	A4	A5	
Modelos Tarea 2. Análisis de dibujos del ciclo del agua	Tipo 0	0	0	2	0	1	0	3
	Tipo 2	5	5	8	3	10	2	33
	Tipo 3	4	5	13	1	16	2	41
	Tipo 4	0	1	0	0	1	0	2
	Tipo 5	0	3	2	1	3	0	9
	Tipo 6	0	1	1	0	1	0	3
	NV	2	3	4	3	3	1	16
Total		11	18	30	8	35	5	107

Tabla V. Correlación entre los modelos obtenidos en la Tarea 2 (Análisis de dibujos) y la Tarea 3 (Invención de analogías). Leyenda: NV (No válido), Tipo 0 (Sin modelo clasificable), Tipo 2 (Modelo atmosférico), Tipo 3 (Modelo de circulación superficial), Tipo 4 (Modelo de circulación subterránea), Tipo 5 (Modelo de reserva independiente), Tipo 6 (Modelo integrador). Analogías: A0 (Descontextualizado), A1 (Depósito), A2 (Conductos), A3 (Bolsas y Conductos), A4 (Estancada en poros), A5 (Moviéndose en materiales porosos).

DISCUSIÓN E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

En primer lugar queremos destacar como casi un tercio de los estudiantes, que en su caso podrían llegar a ser maestros de educación primaria, mostraron un modelo de respuestas incongruente o no respondieron a alguna de las cuestiones. Nos parece significativo y creemos apoya la tesis de la escasa formación inicial sobre la temática tratada, en la línea de las ideas propuestas por Dickerson et al. (2007). Ciertamente la muestra tiene una formación muy básica en ciencias, pero con una procedencia de humanidades donde la materia de geografía es común, tampoco estos contenidos parecen abordar la temática de las aguas subterráneas como recurso. No obstante durante la educación secundaria deberían haber abordado en más de una ocasión el ciclo hidrológico y las aguas subterráneas.

De igual modo es resaltable el elevado número de estudiantes que no completaron la tarea de realizar una representación gráfica del ciclo del agua. En muchos casos se justificaron por sus pocas habilidades para el dibujo o bien porque les parecía muy compleja la tarea de realizar este tipo de representación gráfica. Escapa al objetivo de este trabajo realizar un análisis de esta cuestión, pero debemos apuntar el hecho habitual de que en la formación de los estudiantes imperan las pruebas escritas con dominio en las habilidades lingüísticas (lecto-escritura) y se olvidan las habilidades de comunicación espacial y visual. Diversos autores han llamado la atención sobre la necesidad de desarrollar las habilidades espaciales de los estudiantes, muy necesarias en el aprendizaje de la geología (Orion et al., 1997; Piburn et al., 2002; Dickerson et al., 2005).

En relación a la creación o invención de analogías, este proceso de generación nos permitió obtener más datos sobre las ideas de los estudiantes de magisterio acerca de las aguas subterráneas. Fue particularmente revelador en muchos casos, donde el cuestionario cerrado no aportaba datos o la creación de imágenes no se produjo. El uso de analogías se mostró como una técnica de gran ayuda.

Cuando los estudiantes inventan una analogía para explicar la localización y funcionamiento del agua subterránea, generan un razonamiento basado en la existencia de semejanzas entre el símil y sus ideas o modelo sobre esta temática. Puede que en un proceso de simplificación, el estudiante se centre en una sola propiedad del agua subterránea que piense sea semejante al símil, y obvie otras propiedades. Del análisis que el investigador haga de la analogía creada se pueden extraer algunas ideas que los estudiantes tienen sobre el agua subterránea, aunque por sí sola tampoco es válida. El estudio debe ser completado con otras técnicas

de recogida de datos, tal como realizamos en nuestra triangulación. Es por ello que la combinación de diferentes técnicas de estudio y correlación de los datos puede suplir los problemas de estudio planteados por Dickerson et al. (2005, 2007) y sería generalizable a conceptos complejos abordados en el aula de ciencias.

Por otro lado, la inconsistencia o tendencia al cambio de modelo observada en los estudiantes, se puede explicar en algunos casos por la falta de estabilidad de dichos modelos creados tras un proceso de enseñanza-aprendizaje poco significativo o quizá inexistente en algunos casos, al tiempo de la posible influencia del carácter metacognitivo. En este último sentido, la confianza y control en el propio pensamiento o estrategia de pensamiento, sobre lo que se sabe en temas científicos, abre la posibilidad de ser profundizada desde la investigación educativa.

La dificultad de evaluar las ideas de los estudiantes se centra, tanto en las deficiencias de las técnicas de investigación, como en la complejidad de acceder a las mismas. Para Oliva (1999) las ideas que los alumnos manifiestan a través de las técnicas de recogida de datos, no serían en sí mismas las concepciones que éstos poseen, sino sus manifestaciones externas mediatizadas por factores tales como el contexto o la tarea. Según el mismo autor, el conocimiento se considera un componente latente que no siempre es exteriorizable, se podría disponer de un determinado esquema y no activarlo para una situación concreta aunque sí en otra.

Desde la perspectiva del análisis teórico de lo que entendemos por aprendizaje, en nuestro caso de las ciencias, las concepciones de los que aprenden se pueden analizar como si tales concepciones formaran marcos o redes conceptuales más o menos amplias. Desde esta visión del modelo mental del estudiante, las concepciones sobre una temática del mundo natural son básicamente coherentes y consistentes (Carey, 1985). El aprendizaje se concibe por tanto como una serie de modificaciones, reestructuraciones, revisiones o cambios de la red conceptual en base a nuevas informaciones y experiencias (Mintzes et al., 1988; Strike y Posner, 1992). Esta perspectiva ha sido aplicada en múltiples estudios sobre temas del mundo físico.

La elevada inconsistencia presentada entre nuestros estudiantes de magisterio al explicar el fenómeno de las aguas subterráneas no parece ajustarse a un modelo coherente. Podrían responder a otra perspectiva teórica alternativa, la denominada modelo mental del conocimiento en fragmentos (*"knowledge in pieces"*). diSessa (1993) indica que las explicaciones del mundo natural que realizan los estudiantes no son reflejo de teorías coherentes, sino que son construcciones espontáneas basadas en la activación de elementos simples de conocimiento (denominados por este

autor como “*phenomenological primitives*” o “*p-prims*”). Estos elementos simples de conocimiento pueden activarse de forma diversa, dependiendo de las tareas demandadas a los estudiantes, actúan a un nivel cognitivo profundo y generan un vocabulario propio que da sentido a las explicaciones que realizan los sujetos (Hammer, 1996). Los resultados obtenidos en nuestro estudio parecen ajustarse mejor a este aprendizaje fragmentado basado en elementos simples, aunque sin duda es necesario realizar más investigación sobre el tema. Southerland et al. (2001) también demandan estudios en mayor profundidad sobre temáticas biológicas que no se ajustan a las explicaciones habituales de los marcos conceptuales coherentes, debido a su complejidad e inaccesibilidad a la experiencia directa. En el ámbito de la geología, las aguas subterráneas también comparten estas características.

Junto a las necesidades de nuevas investigaciones antes descritas, hemos de finalizar resaltando que evidenciamos una escasa formación entre los estudiantes de Magisterio. Independientemente de la técnica utilizada se detectan un número importante de errores en las concepciones, que después se dilatan al practicar las correlaciones. Pareciera que se perpetúa la idea de que el conocimiento sobre el tema no se diferencia mucho entre alumnos y profesores (Dickerson et al., 2007).

El hecho mencionado es grave si pensamos en posibles futuros profesionales de la enseñanza, pero nos planteamos el siguiente interrogante: ¿Quién es el responsable de todo esto? O mejor ¿Cómo podemos solucionarlo? Es evidente que todos los que trabajamos en la enseñanza debemos aunar esfuerzos para solucionar esta situación de precariedad, tanto en la falta de conocimientos como en conocimientos adquiridos de forma errónea. Es necesario el conocimiento acertado del funcionamiento del ciclo del agua, ya tratado desde la etapa de Educación Infantil, aunque las aguas subterráneas aparecen de forma anecdótica en muchos casos. Con todo esto destacamos la importancia de introducir los contenidos geológicos en la cultura científica de los ciudadanos, para lo cual será necesaria la utilización de las herramientas correctas.

AGRADECIMIENTOS:

Este texto se ha beneficiado de los comentarios de los profesores participantes en el XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología (Huelva, julio 2012) cuando se presentó como comunicación oral y se debatió con los asistentes. A todos ellos queremos agradecer sus aportaciones.

Al profesor Javier Carrillo Rosúa por su ayuda en la redacción final del documento.

BIBLIOGRAFÍA

Acevedo, J.A. (1990). Aportaciones acerca del aprendizaje por analogía: modelos analógicos y conceptuales de la corriente eléctrica. En Grupo de Investigación en la Escuela (Comps.), *Cambio educativo y desarrollo profesional*, 201-208. Sevilla.

Bach, J. y Brusi, D. (1990). El ciclo de l'agua. *Perspectiva escolar*, 150, 8-18.

Beilfuss, M.D. (2004). Exploring conceptual understanding of groundwater through student's interviews and drawings. *Proceedings of 77th Annual Meeting of NARST*. Vancouver, B.C.

Ben-zvi-Assarf, O. y N. Orion (2005). A study of junior high students' perceptions of water cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53, 4, 366-373.

Calvo-Hernández, J. M., Cortés-García, A. L. y Martínez Peña, M. B. (2004). Algunos problemas relacionados con las imágenes de Geología en los libros de texto de Primaria y Secundaria. *Geo-Temas*, 6, 4, 13-15

Calvo, M; Reyero, C; Vidal, M.P; Morcillo, J.G. y García, E. (2007). Trabajo con modelos en aguas subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 341-347.

Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA. Bradford Books/MIT Press.

Cortés-García, A.L. y San Román, J. (2006). Varias visiones en torno al Agua Subterránea. En A.L. Cortés Gracia y M.D. Sánchez González (eds.): *Educación científica: Tecnologías de la Información y la Comunicación y Sostenibilidad*. Edición digital - CD ROM. Zaragoza: Prentice Hall/Universitarias de Zaragoza.

De Miguel, J; Lado, J; Martínez, V; Leal, M. y García, R. (2009). El ciclo hidrológico: experiencias prácticas para su comprensión *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17(1), 78-85.

Dickerson, D.L. y Dawkins, K.R. (2004). Eighth grade students' understandings of groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 52, 1, 178-181.

Dickerson, D.L. y Callahan, T. (2006). Ground water is not a priority. *Ground Water*, 44, 323.

Dickerson, D., Callahan, T.J., Sickle, M.V. y Hay G. (2005). Students' conceptions of scale regarding groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 53, 4, 374-380.

Dickerson, D.L., Penick, J.E., Dawkins, K.R. y Van Sickle, M. (2007). Groundwater in Science Education. *Journal of Science Teacher Education*, 18, 45-61.

diSessa, A. (1993). Toward an epistemology of physics. *Cognition and Instruction*, 10, 105-225.

Fernández-Ferrer, G. (2009). *El agua subterránea: estudio de esquemas de conocimiento en universitarios y estrategias didácticas para su aprendizaje significativo en estudiantes de secundaria*. Granada: Universidad de Granada. Disponible en: <http://o-hera.ugr.es/adrastea.ugr.es/tesisugr/18323406.pdf>.

Fernández-Ferrer, G. y González, F. (2008). El agua subterránea en la escuela: un estudio de cambio conceptual en alumnos de educación secundaria basado en la investigación-acción. A. Calogne, L. Rebollo, M.D. López-Carrillo, A. Rodrigo e I. Rábano (Eds.), *Actas del XV Simposio sobre Enseñanza de la Geología. Cuadernos del Museo Geominero*, nº11, 147-156. Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

Fernández-Ferrer, G. y González, F. (2010). Modelos de localización y funcionamiento del agua subterránea en universitarios de ciencias. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(3) 716-736. En http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen9/ART12_Vol9_N3.pdf. Consulta: 15 de octubre de 2012

- Fernández-Ferrer, G., González, F., Molina, J.L. (2011) El cambio climático y el agua: lo que piensan los universitarios. *Enseñanza de las Ciencias*, 29 (3), 427-438.
- Fernández-Ferrer, G y González, F. (2012). La creación de analogías para conocer los modelos de localización y funcionamiento del agua subterránea. Sarmiento, A. M., Cantano, M. y Almodóvar, G. R. (Eds.), *Actas del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, 79-90. Huelva: Universidad de Huelva.
- Hammer, D. (1996). Misconceptions or p-prims: How may alternative perspective of cognitive structure influence instructional perceptions and intentions. *Journal of the Learning Sciences*, 5, 97-127.
- Kali, Y. y Orion, N. (1996). Spatial abilities of high-school students in the perception of geologic structures. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 369-391.
- 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.
- Mintzes, J., Wandersee, J. y Novak, J. (1998). *Teaching science for understanding: The human constructivist view*. San Diego, CA: Academic Press.
- Nebot, M.R. (2007). El ciclo del agua en una garrafa. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 15(3), 333-340.
- Oliva, J. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 1, 93-107.
- Oliva, J.M; Aragón, M.M.; Mateo, J. y Bonat, M. (2001). Una propuesta didáctica, basada en la investigación, para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), 453-470.
- Oliva, J.M. (2003). Rutinas y guiones del profesorado de ciencias en el uso de analogías como recurso en el aula. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 2 (1), 31-44. En: <http://www.saum.uvigo.es/reec/volumenes/volumen2/Numero1/Art2.pdf> Consulta: 15 de octubre de 2012.
- Oliva, J.M (2005). Actividades para la enseñanza/aprendizaje de la química a través de analogías *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de la Ciencia*, 3(1), 104-114.
- Orion, N., Ben-Chaim, D., y Kali, Y. (1997). Relationship between earth-science education and spatial visualization. *Journal of Geoscience Education*, 45, 129-132.
- Piburn, M. (1980). Spatial reasoning as a correlate of formal thought and science achievement for New Zealand students. *Journal f Research in Science Teaching*, 17, 443-448.
- Piburn, M., Reynolds, S.J., Leedy, D.E., McAuliffe, C.M., Birk, J.P. y Johnson, J.K. (2002). The hidden earth: visualization of geologic features and their subsurface geometry. *Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Reseach in Science Teaching*, New Orleans, LA. 47 pages with CD-ROM. En: http://geology.isu.edu/topo/pubs/NARST_final.pdf Consulta: 15 de noviembre de 2012.
- Pozo, J. I. (1996). La Psicología cognitiva y la educacion científica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(2), 110-131.
- Rodríguez, M. (1997). Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza/aprendizaje de la estructura y del funcionamiento celular. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2, 2, 123-14.
- Silva, M.M. y Amador, F. (2002). Dos modelos históricos (história da geologia) aos modelos dos alunos. um estudo exploratório sobre os modelos mentais, respeitantes à origem, ao armazenamento e à circulação das águas subterráneas, realizado com alunos do 12º ano do ensino secundário. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7, 3, 205-214.
- Strike, K.A. y Posner, G.J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. A. Duschl & R. J. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice*. New York: State University of New York, 147-176.
- Southerland, S.A., Abrams, E., Cummins, C.L., y Anzelmo, J. (2001). Understanding students' explanations of biological phenomena: Conceptual frameworks or p-prims? *Science Education*, 85, 328-348.
- Yus, R. (1994). Balsas de agua y ríos subterráneos. Representaciones de los alumnos sobre la circulación freática. Su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2, Número Extra 1, VIII Simposio sobre Enseñanza de la Geología, 76-80. ■

Fecha de recepción del original: 28/09/2012
 Fecha de aceptación definitiva: 26/10/2012