

## **Modelos de localización y funcionamiento del agua subterránea en universitarios de ciencias**

**Gracia Fernández Ferrer<sup>1</sup> y Francisco González García<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Centro Público Rural Valle Verde, Otívar, Granada, España. E-mail: [geagr@hotmail.com](mailto:geagr@hotmail.com); <sup>2</sup>Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Universidad de Granada, España. E-mail: [pagoga@ugr.es](mailto:pagoga@ugr.es)

**Resumen:** En este trabajo se muestra un conjunto de modelos de localización y flujo del agua subterránea, que reflejan grados de evolución en el pensamiento de universitarios de disciplinas de ciencias. Con ello se pretende favorecer la determinación de un diagnóstico de la situación actual de los estudiantes en esta materia, pudiéndose comprobar la influencia de pertenecer a una carrera concreta o haber cursado la materia de Hidrogeología. Para lograr un conocimiento en profundidad sobre los modelos, así como para determinar el grado de consistencia de los mismos, se utilizan diferentes técnicas, como cuestionarios, entrevistas o representación gráfica, y posterior correlación de los datos.

**Palabras clave:** modelos, agua subterránea, correlación de datos, grado de consistencia, estudiantes universitarios.

**Title:** Models of groundwater systems location and dynamics in university students of sciences.

**Abstract:** In this work set of models of location and dynamics of groundwater systems, that they reflect degrees of evolution in the thought of university students of sciences disciplines. With it is expected to promote the determination of a diagnosis of the current situation of the students in this matter, being able to check the influence of belonging to a specific career or to have done the matter of Hydrogeology. To achieve a knowledge in depth on models, as well as to determine the degree of consistency of the same, different techniques are used, such as questionnaires, interviews or graphic display, and later correlation data.

**Keywords:** models, groundwater, data correlation, degree of consistency, university students.

### **Introducción: Marco teórico y objetivos**

Una línea de estudios desarrollada, desde finales de los ochenta, en el campo de la Didáctica de las Ciencias es la modelización del pensamiento causal (Oliva, 1999), que utiliza los modelos mentales de la psicología computacional como instrumento de representación del conocimiento.

Un modelo mental es definido por Moreira (1996) como "una representación interna de informaciones que corresponde, análogamente, al estado de cosas que se están representando, sea cual sea el mismo" Otras características apuntadas por este autor se refieren a que son bloques de

construcción cognitivos que pueden combinarse conforme sea necesario y que funcionan y trabajan de modo estructurado. Según Johnson-Laird (1983) en la percepción del mundo los seres humanos crean modelos debido a que no aprenden directamente del mismo.

Parece evidente, desde esta concepción, que el estudio de los modelos mentales debe ser mucho más complejo de lo que supone conocer las tradicionales ideas previas. Según Márquez y Bach (2007) "si se quiere conocer los modelos tendrán que inferir 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, haciendo referencia a la necesidad de utilizar varios instrumentos de recogida de datos, al tiempo que las investigaciones deben adquirir un carácter menos descriptivo y más interpretativo o cualitativo. Esto genera un problema anotado por Cavitas y Tonucci (1988, en Rodríguez, 1997) relativo a la dificultad de comparar horizontalmente los datos de un mismo sujeto, cuando son productos diferentes (diálogos, fichas, dibujos), así como encontrar categorías comunes que permitan comprender su modelo mental.

La investigación educativa sobre los esquemas de conocimiento y/o modelos mentales de los estudiantes, sobre el ciclo del agua en general, o la parte aérea en particular, ha arrojado de modo tradicional un número importante de trabajos, según la bibliografía revisada (Bar, 1989; Taiwoo y otros, 1989; Bach y Brusi, 1990; Pereira y Pestana, 1991; Bach, 2001; Márquez y otros, 2003; Ben-zvi-Assarf y Orion, 2005; Márquez y Bach, 2007).

En menor medida, la temática concreta del agua subterránea ha sido objeto de estudio en diferentes investigaciones, pudiéndose concluir (según Dickerson y otros, 2007) que existen cinco dificultades con las que se encuentran sus contenidos, las cuales están relacionadas con: 1) su olvido dentro del ciclo del agua, 2) los esquemas de conocimiento erróneos, 3) el desconocimiento de las propiedades de los materiales, 4) la necesidad de dar mayor atención en la enseñanza a las habilidades de razonamiento espacial y 5) el diseño de instrumentos de evaluación apropiados.

Los estudios acerca de los esquemas de conocimiento erróneos sobre el agua subterránea tienen en común la desacertada localización que hacen los estudiantes de la misma en el interior de la tierra, imaginándola en lagos y ríos subterráneos (Yus, 1994; Dickerson y Dawkins, 2004; Dickerson y otros, 2005; Fernández-Ferrer y González, 2008; Fernández-Ferrer y otros, 2008; Fernández-Ferrer y otros, 2009).

En este sentido, Yus (1994) estudió las ideas de los alumnos españoles de primero de Bachillerato Unificado Polivalente (Ley General de Educación de 1970), sobre la circulación freática en medios porosos, estableciendo que estas pueden ser catalogadas en tres modelos representacionales: el de "río subterráneo" defendido por el 42% de los sujetos estudiados, el de "balsa"

de agua utilizado por el 24% y el de "río subterráneo y balsa" de agua representado por el 19%.

En Estados Unidos, Dickerson y Dawkins (2004), llevaron a cabo estudios sobre los esquemas de conocimiento de estudiantes de octavo grado, llegando a similares conclusiones sobre la localización del agua subterránea en lagos y/o ríos subterráneos, de forma generalizada. A esta coincidencia, también se pueden añadir las del estudio de Silva y Amador (2002) con estudiantes portugueses o el de Fernández-Ferrer y González (2008) y Fernández-Ferrer (2009) con estudiantes españoles, ambas en edades de secundaria. Parece evidente pensar que los mismos esquemas aparecen en individuos de distintos países y sistemas educativos diferentes, hecho ya recogido en estudios previos sobre ideas alternativas como los de Furió Más (1996) y Carrascosa (2005 a, b).

A todo lo anterior se añade la dificultad anotada por Dickerson y otros (2007) de diseñar instrumentos de evaluación apropiados para la detección de los esquemas de conocimiento. Un estudio sobre esta problemática 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 probablemente adquiridos tales conceptos (Dickerson y Dawkins, 2004). Como alternativa Beilfuss (2004, en Dickerson y otros, 2007) estudia los esquemas de conocimiento por medio de entrevistas y de dibujos, obteniendo resultados más procedentes.

En el presente estudio, contextualizado en una tesis doctoral (Fernández-Ferrer, 2009), se describen y dan a conocer las posibilidades de utilizar diferentes técnicas de recogida de datos. Se requiere de los estudiantes la participación de diferentes formas de expresión, como la escrita, la oral y la gráfica, practicándose un posterior análisis comparativo. De este modo se facilita un acercamiento y profundización a los modelos de localización y funcionamiento del agua subterránea.

Los resultados pueden favorecer la determinación de un diagnóstico de la situación actual de los universitarios en la materia que nos ocupa, que pueda poner en marcha, en su caso, medidas de mejora en el proceso de enseñanza y aprendizaje del agua subterránea, que probablemente habría que empezar desde la enseñanza primaria (Calvo-Hernández y otros, 2004; Cortés-García y San Román, 2006).

### **Metodología**

El estudio se ha realizado durante los cursos 2007/08 y 2008/09, sobre una muestra de 319 estudiantes de la Universidad de Granada (España), que se reparten entre los diversos cursos de las carreras de Biológicas (141 casos), Ambientales (100 casos), Geológicas (41 casos) e Ingeniería de Caminos Canales y Puertos y de Químicas, que se han agrupado en la categoría Otros (37 casos) por tener un reducido número de casos por separado. Algunos (57 casos) de las carreras de Ambientales y Geológicas han cursado la asignatura de Hidrogeología.

Las técnicas de recogida de datos son el cuestionario cerrado (con posibilidades de respuesta limitada), la entrevista y el análisis de dibujos. Más adelante se presentan las mismas como tareas de los estudiantes.

Para determinar el posible origen de los esquemas de conocimiento se ha realizado un análisis comparativo de los datos obtenidos a través de las diferentes técnicas, con los extraídos de la carrera que cursan y la posibilidad de haber cursado la asignatura de Hidrogeología.

En la recogida de datos se propusieron las siguientes tareas a los estudiantes:

*Tarea 1. Complimentación de un cuestionario cerrado*

En su construcción se confeccionaron dos cuestionarios previos, con posibilidades de respuesta cerrada, cuyos ítems 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. Posteriormente, se ensayaron con 59 estudiantes de secundaria, bachillerato y universidad.

De este estudio piloto surgió un cuestionario que posteriormente fue revisado por un grupo de profesores del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales de la Universidad de Granada (España), quedando configurado el utilizado. El mismo está constituido por tres cuestiones de respuesta cerrada, cuyos ítems coinciden con las categorías de las tres variables estudiadas. Estas variables se recogen en la tabla 1 y los ítems del cuestionario aparecen en el anexo 1, coincidiendo con la descripción de las categorías.

En el presente estudio se describe la triangulación de las tres variables, cuyo resultado favoreció un primer acercamiento sobre los modelos de localización y flujo que poseían los estudiantes, así como el grado de congruencia en sus respuestas. Esto fue así porque las diferentes variables estudiadas tratan de aproximarse a los esquemas de conocimiento sobre el agua subterránea en cuanto a su emplazamiento físico o lugar donde se aloja el agua y dinámica de flujo, desde tres caminos distintos. De este modo, las categorías establecidas "a priori" en cada una de las variables redundan en los mismos aspectos conceptuales.

<b>Variables</b>	<b>Descripción</b>
Variable 1. Concepto de acuífero	Se pretende conocer cuál es el concepto que tienen los estudiantes de un acuífero.
Variable 2. Localización y flujo	Estudia la localización del agua subterránea y si tienen asumido la idea de flujo.
Variable 3. Procedencia	Refiere los esquemas de conocimiento que los estudiantes refieren sobre la procedencia del agua subterránea.

Tabla 1.- Variables de estudio del cuestionario cerrado y descripción de las mismas.

## Tarea 2. Entrevista

Se entrevistó a 37 estudiantes de los que cumplimentaron el cuestionario, habiéndose tenido en cuenta como criterio de elección de los casos, que en la medida de lo posible, hubiese representantes de cada uno de los modelos obtenidos tras la triangulación de las variables 1, 2 y 3 (Tabla 1). No obstante, en algunos resultó imposible contactar con los mismos.

La finalidad de las entrevistas consistía en conocer la localización del agua subterránea, su dinámica y relación con el medio superficial. La dificultad de acercamiento al pensamiento del estudiante, junto al deseo de que se produjera una expresión libre y relajada de sus ideas, fueron las principales preocupaciones. Es por ello, que el patrón de la entrevista fue diferente en los dos cursos académicos del estudio. Sirviendo el primero de toma de contacto y permitiendo en el segundo una nueva reorganización, más acorde a nuestros intereses.

En el primer curso se tomó como guía del proceso de entrevistas las contestaciones relativas a las variables 1, 2 y 3 del cuestionario dadas por cada caso, al tiempo que se siguió el siguiente patrón de preguntas:

-Localización: "¿Cómo te imaginas el agua debajo de la Tierra? ¿Cómo es el reservorio donde está, hueco o cómo?"

-Dinámica: "¿Estará el agua en movimiento o parada?"

Como resultado, se observó que en algunas entrevistas no se lograba conocer con exactitud cómo era el reservorio donde localizaban el agua subterránea, pudiendo dar paso a múltiples interpretaciones. Por otro lado, al comparar con las contestaciones del cuestionario, en algunos casos, creaba incomodidad, reconociéndose que habían cumplimentado el mismo por intuición y no partiendo de unas ideas sólidas y arraigadas. En otros, se creaba confusión y modificación de ideas a lo largo de la entrevista para lograr cuadrar las contestaciones con las del cuestionario.

Para resolver estas dificultades, en el segundo curso se modificaron algunos aspectos de las entrevistas. Se pensó en no seguir sólo los resultados del cuestionario como base-guía y centrar el interés en la recogida de datos sobre la localización y funcionamiento del agua subterránea. Para facilitar esta tarea, tomando la idea de Dickerson y otros (2007), se utilizó un dibujo básico, como muestra la figura 1, en el que se representa un valle fluvial, un río en el fondo, un árbol con raíces en ladera de la montaña, el sol, una nube y lluvia.



Figura 1.- Plantilla utilizada en entrevistas.

El patrón de entrevista seguido fue el siguiente: "¿Podría haber agua subterránea en este perfil del terreno? Si la hubiera, ¿podrías dibujar dónde está?". Tras el dibujo, se comenzaba a conversar con los estudiantes siguiendo el patrón de preguntas de las entrevistas del primer año, y añadiendo otras como: "Si hay recarga, ¿de dónde procede?" y/o "si hay descarga, ¿por dónde se produce y hacia dónde?".

### *Tarea 3. Dibujo lo más detallado posible del ciclo del agua*

Esta tarea se aplicó a los 319 estudiantes que cumplimentaron el cuestionario. Su análisis se ha realizado basándonos en 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 tarea de análisis se hizo una diferenciación entre los modelos 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 (Tipo 1), atmosféricos (Tipo 2) y superficiales (Tipo 3). En el segundo grupo la diferenciación entre modelos se hace según haya recarga y/o descarga del medio subterráneo desde 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.

## **Resultados**

### *Tarea 1. Cuestionario*

En la triangulación de las variables se han considerado no válidos los casos que no han cumplimentado las tres cuestiones.

Los diferentes modelos obtenidos son los siguientes:

a) Modelo Incongruente: 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 Río subterráneo: 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 por infiltración de precipitaciones.

c) Modelo Lago subterráneo: 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.

d) Modelo Lago y río subterráneo: 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, del vapor interior o de las precipitaciones.

e) Modelo Lago y movimiento en poros: 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 del vapor interior terrestre o por la infiltración de las precipitaciones.

f) Modelo Estancada en poros y ríos subterráneos: 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.

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

h) Modelo Fluyendo en poros: 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.

En la tabla 2 aparecen las frecuencias y porcentajes de los diferentes modelos. El más representativo es el de "Lago y río subterráneo", con el 43,9%, seguido de "Fluyendo en poros", que consideramos más cercano al pensamiento científico actual y que corresponde al 12,2% del total de la muestra. El resto de modelos están representados por porcentajes inferiores al 10%, aunque es destacable el 13,8% correspondiente al modelo incongruente.

<b>Modelos de localización y flujo subterráneo</b>	<b>f (%)</b>
Casos no válidos (no contestan a alguna cuestión)	19 (6,0)
Modelo Estancada en poros	15 (4,7)
Modelo Río subterráneo	24 (7,5)
Modelo Lago y río subterráneo	140 (43,9)
Modelo Lago subterráneo	33 (10,3)
Modelo Estancada en poros y ríos subterráneos	2 (0,6)
Modelo Lago y movimiento en poros	3 (0,9)
Modelo Fluyendo en poros	39 (12,2)
Modelo Incongruente	44 (13,8)
Total	319 (100)

Tabla 2.- Frecuencias y porcentajes de los diferentes modelos de localización y flujo subterráneo tras la triangulación de las variables del cuestionario. Leyenda: f: frecuencia; %: porcentaje.

El reparto de los modelos en relación a las carreras cursadas por los estudiantes, se observa en el gráfico de barras de la figura 2, donde se representan los porcentajes relativos dentro de cada titulación a mantener un modelo u otro. Se detectan casos representativos de cada modelo en las diferentes carreras, destacando los de Ciencias Geológicas que

mayoritariamente presentan el modelo "Fluyendo en poros", frente al resto que lo hacen del "Lago y río subterráneo". No obstante, en Ciencias Ambientales el modelo "Fluyendo en poros" es el segundo más utilizado.

La tendencia descrita a mostrar un modelo más cercano al aceptado científicamente ("Fluyendo en poros") por estudiantes de Geológicas y en menos medida por los de Ambientales, parecería lógico atribuirle al haber cursado la materia de Hidrogeología. Hecho que puede contrastarse en el análisis comparativo presentado en la tabla 3, donde se aprecia un porcentaje relativo del 92,8%, si los estudiantes no la han cursado, a tener modelos erróneos, mientras que el caso contrario no da un porcentaje tan elevado de casos con el modelo acertado, incluso inferior al de modelos erróneos, pudiendo concluir que la influencia no es demasiado decisiva.

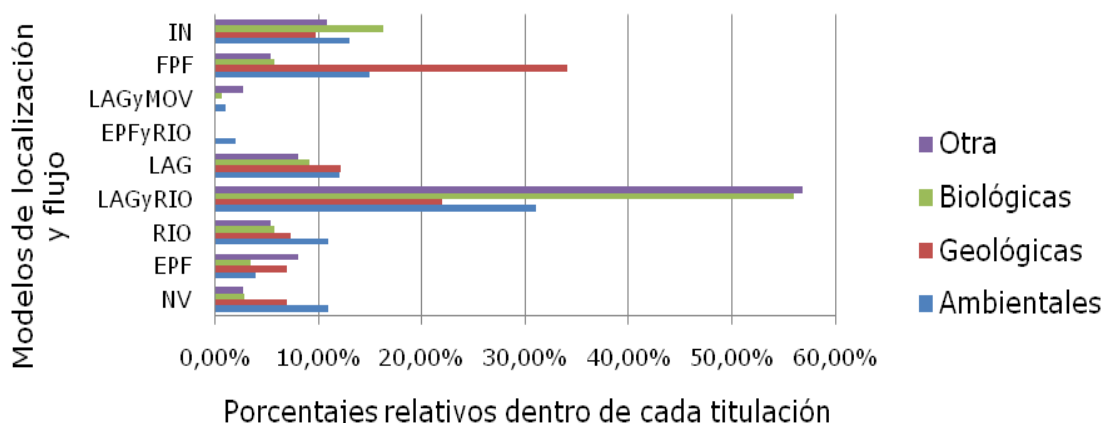


Figura 2.- Gráfico de barras que muestra los porcentajes relativos de cada carrera a tener un determinado modelo resultante tras la triangulación. Leyenda: AMB: Ambientales; GEO: Geológicas; BIO: Biológicas; OTRA: Química e Ingeniería de Caminos Canales y Puertos; EPF: modelo estancada en poros; RIO: modelo río subterráneo; LAGyRIO: modelo lago y río subterráneo; LAG: modelo lago subterráneo; EPFyRIO: modelo estancada en poros y ríos subterráneos; LAGyMOV: modelo lago y movimiento en poros; FPF: modelo fluyendo en poros; IN: modelo incongruente; NV: casos no válidos.

			Modelos de Localización y Funcionamiento del agua subterránea (Triangulación)		
			Erróneos	Acertado	Total
Haber estudiado Hidrogeología	Sí	Recuento	28	22	50
		% Relativo	56,0	54,0	100
	No	Recuento	232	18	250
		% Relativo	92,8	7,2	100

Tabla 3.- Recuento y porcentajes relativos de haber o no cursado la materia de Hidrogeología para referir un modelo acertado o erróneo de Localización y Flujo del agua subterránea, detectados mediante la triangulación.



Por último, nos planteamos el interrogante siguiente: ¿la tendencia de los casos, a dar modelos incorrectos aunque hayan cursado la asignatura de Hidrogeología, se decanta más por una determinada carrera? Para contestarlo, se han diferenciado los casos según pertenezcan a Ambientales o Geológicas y haya o no cursado la materia. De este modo, en el gráfico de barras de la figura 3, se representan los porcentajes relativos de haber cursado o no la materia según pertenezcan a una carrera u otra. Se puede resolver que existe una importante diferencia entre los casos de ambas carreras y que sí la han cursado, habiendo un mayor porcentaje de Geológicas a tener el modelo correcto. No obstante, entre los casos que no la han cursado, no se encuentran diferencias tan importantes entre ambas carreras.

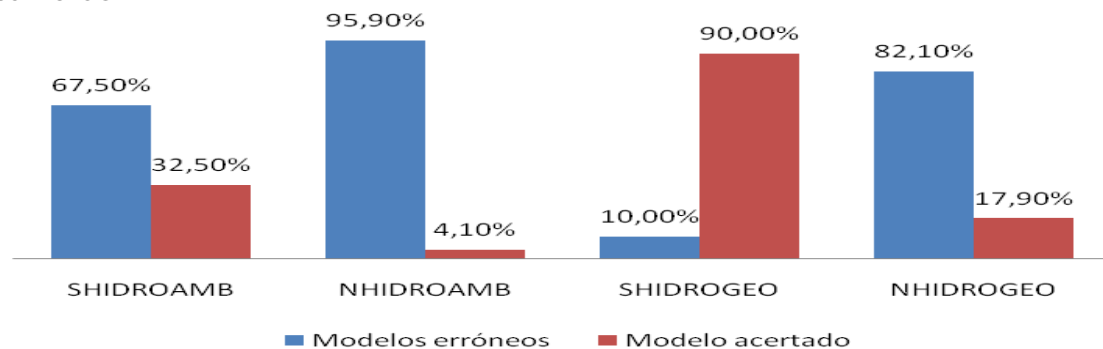


Figura 3.- Porcentajes relativos de haber o no cursado la materia de Hidrogeología según procedencia de Geológicas o Ambientales, para mantener modelos erróneos o acertados detectados mediante la triangulación. Leyenda: SHIDROAMB: sí han cursado Hidrogeología de Ambientales; NHIDROAMB: no han cursado Hidrogeología de Ambientales; SHIDROGEO: sí han cursado Hidrogeología de Geológicas; NHIDROGEO: no han cursado Hidrogeología de Geológicas.

### Tarea 2. Entrevista

Como se comentó anteriormente en la elección de los casos para aplicar esta prueba se ha tenido en cuenta que representen a cada uno de los modelos de triangulación. No obstante fue imposible contactar con los escasos estudiantes representativos de los modelos "Estancada en poros y ríos subterráneos" y "Lago y movimiento en poros".

Las frecuencias y porcentaje de los modelos obtenidos tras la entrevista aparecen en la tabla 4, junto con la correlación de los modelos tras la triangulación de las variables del cuestionario. Se aprecia que los modelos modelo "Estancada en poros y ríos subterráneos" y "Lago y movimiento en poros", que en principio no había casos representativos de la triangulación, tras la entrevista sí aparecen. En relación al modelo "Lago y movimiento en poros" se aprecia una matización en relación a su significado. De este modo, los casos de este modelo hablan de dos zonas en el medio subterráneo, una de estancamiento a la que pueden llamar acuíferos o lagos y otra de flujo, estando en esta última zona el agua localizada en los poros de las rocas.

Los casos clasificados de incongruentes en la triangulación, por contradecirse al contestar el cuestionario, se modificaron durante la entrevista y muestran algún modelo concreto. De igual modo ocurre con los

casos no válidos. El resto de modelos son comunes tanto en la entrevista como en la triangulación, por lo que se puede verificar la validez interna de los datos.

Modelos	Entrevista f (%)	Triangulación f (%)
Modelo Lago y río subterráneo	10 (27,0)	12 (32,4)
Modelo Lago subterráneo	4 (10,8)	3 (8,1)
Modelo Río subterráneo	2 (5,4)	4 (10,8)
Modelo Estancada en poros	2 (5,4)	1 (2,7)
Modelo Estancada en poros y ríos subterráneos	7 (18,9)	0
Modelo Lago y movimiento en poros	3 (8,1)	0
Modelo Fluyendo en poros	9 (24,4)	8 (21,7)
Casos no válidos	0	4 (10,8)
Modelo Incongruente	0	5 (13,5)
Total	37 (100)	37 (100)

Tabla 4.- Frecuencia y porcentaje de cada uno de modelos obtenidos tras la entrevista y en la triangulación de las variables del cuestionario. Leyenda: f: frecuencia; %: porcentaje.

En cuanto al análisis comparado de los diferentes modelos obtenidos mediante las entrevistas con la carrera que estudian (Figura 4) se observa que el modelo con mayor representación en los estudiantes de Ciencias Biológicas es "Lago y río subterráneo". Por otro lado, en Ambientales y Geológicas, una mayoría muestra el de "Fluyendo en poros", dato que puede indicar la influencia de la asignatura de Hidrogeología.

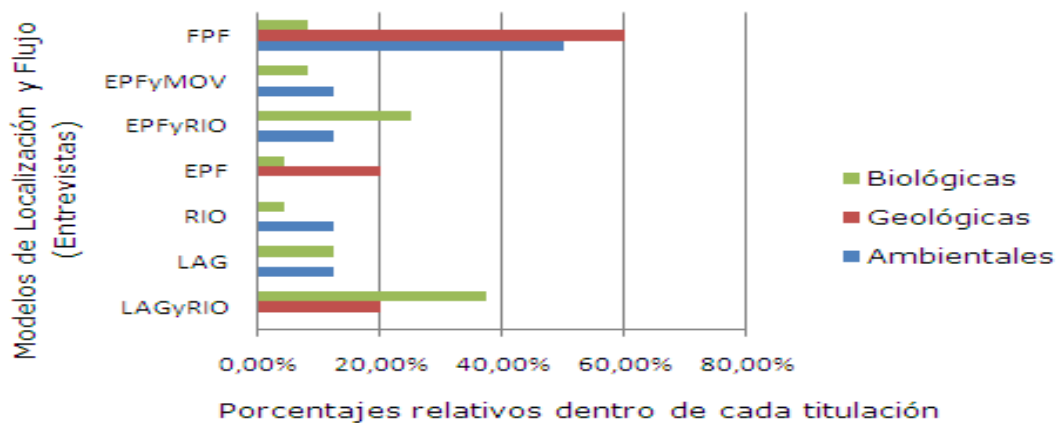


Figura 4.- Porcentajes relativos de cada carrera a tener un determinado modelo de Localización y Flujo subterráneo resultante tras las entrevistas. Leyenda: EPF: modelo estancada en poros; RIO: modelo río subterráneo; LAGyRIO: modelo lago y río subterráneo; LAG: modelo lago subterráneo; EPFyRIO: modelo estancada en poros y ríos subterráneos; LAGyMOV: modelo lago y movimiento en poros; FPF: modelo fluyendo en poros; IN: modelo incongruente; NV: casos no válidos.

Por otro lado, se ha estudiado el grado de consistencia de los modelos, entendiendo como tal la capacidad de un sujeto de cambiar de modelo entre diferentes técnicas de recogida de datos. De este modo, se han podido responder a las siguientes cuestiones: ¿Cuáles son los modelos más consistentes o inconsistentes? ¿Qué asociación existe entre el grado de consistencia de un modelo y la pertenencia de un caso a una carrera concreta?

El estudio de la primera cuestión se recoge en la tabla 5, donde se aprecia un mayor grado de consistencia de los sujetos que tiene los modelos de "Fluyendo en poros", "Lago y río subterráneo", y "Lago subterráneo", estos dos últimos tradicionalmente recogidos en la bibliografía en investigaciones en estudiantes de Secundaria. Por otro lado, los que tienen los modelos "Estancada en poros y ríos subterráneos", "Estancada en poros" y "Lago y movimiento en poros" son más inconsistentes y por tanto más posiblemente llamados al cambio entre una técnica u otra de recogida de datos, coincidiendo los tres últimos con modelos nuevos observados en este estudio en universitarios.

<b>Grado de Consistencia (Entrevista / Cuestionario)</b>	<b>Modelos de localización y flujo subterráneo</b>	<b>Frecuencia (Porcentaje)</b>
Consistente (sin tendencia importante al cambio de modelo)	Fluyendo en poros Lago y río subterráneo Lago subterráneo	15 (40,5)
Inconsistente (tendencia importante al cambio de modelo)	Río subterráneo Estancada en poros y ríos subterráneos Estancada en poros Lago y movimiento en poros	18 (48,6)
Indeterminado (No contestan a alguna cuestión en el cuestionario)	No se ha podido determinar su modelo a través del cuestionario	4 (10,9)
Total		37 (100)

Tabla 5.- Grado de consistencia entre los modelos obtenidos de la triangulación de las variables del cuestionario y los datos de las entrevistas.

<b>Asociación del grado de consistencia con carreras</b>				
	<b>Biológicas</b>	<b>Geológicas</b>	<b>Ambientales</b>	<b>Total f</b>
Consistente f (%)	8 (36%)	3 (60%)	3 (50%)	14
Inconsistente f (%)	14 (64%)	2 (40%)	3 (50%)	19
Total Válidos f (%)	22 (100%)	5 (100%)	6 (100%)	33
No válidos				4
Total				37

Tabla 6.- Asociación entre el grado de consistencia y la carrera que estudian los casos. Leyenda: f: frecuencia; %: porcentaje.

En cuanto a la asociación del grado de consistencia con las diferentes carreras de estudio (Tabla 6), independientemente de mostrar un modelo

más o menos acertado, se aprecia una mayor tendencia de los estudiantes de Geológicas a ser consistentes, mientras que los de Biológicas tienden a ser más inconsistentes. Por otro lado, en los estudiantes de Ambientales no aprecia ninguna decantación concreta entre uno u otro extremo.

A modo de síntesis en el Anexo 2 se recoge la representación visual de los diferentes modelos de localización y flujo subterráneo basados en los resultados obtenidos en el presente estudio.

*Tarea 3. Representación gráfica del ciclo del agua*

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 28% de la muestra (Tabla 7). Ejemplos de representaciones de estos modelos se recogen en la figura 5.

Modelos de representación gráfica del ciclo del agua		
	Frecuencia	Porcentaje
NC	52	16,3
Tipo 2	20	6,3
Tipo 3	74	23,2
Tipo 4	13	4,1
Tipo 5	101	31,7
Tipo 6	56	17,6
NV	3	0,9
Total	319	100,0

Tabla 7.- Modelos de representación gráfica del ciclo del agua según Márquez y Bach (2007), observados en el presente trabajo.



Figura 5.- Ejemplo ilustrativo de los modelos de representación del ciclo del agua Tipo 2 o "atmosférico" (izquierda) y Tipo 3 o "superficial" (derecha) de dos universitarios.

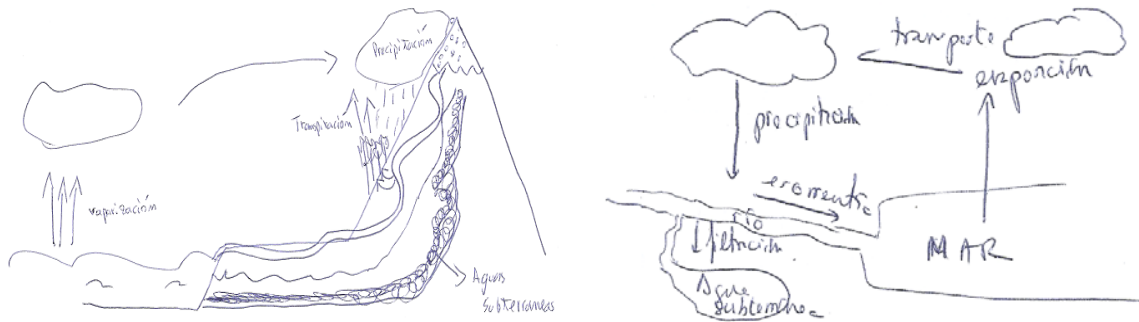


Figura 6.- Ejemplo ilustrativo de los modelos de representación del ciclo del agua Tipo 4 o de "circulación freática" y Tipo 5 o de "reserva independiente" de dos universitarios.

Los modelos de representación del ciclo del agua que sí representan la parte subterránea (Tipo 4, 5 y 6) son referidos por algo más de la mitad de la muestra, como se recoge en la tabla 7. El modelo de representación del ciclo del agua más utilizado por los estudiantes es el Tipo 5 o de "reserva independiente" donde se dibuja la entrada del agua subterránea y no sale al exterior. El otro modelo que representa el agua subterránea, pero sin entradas a la misma, aunque sí puede tener salidas, es el Tipo 4 o de "circulación subterránea". Un ejemplo ilustrativo de ambos modelos es el recogido en la figura 6.

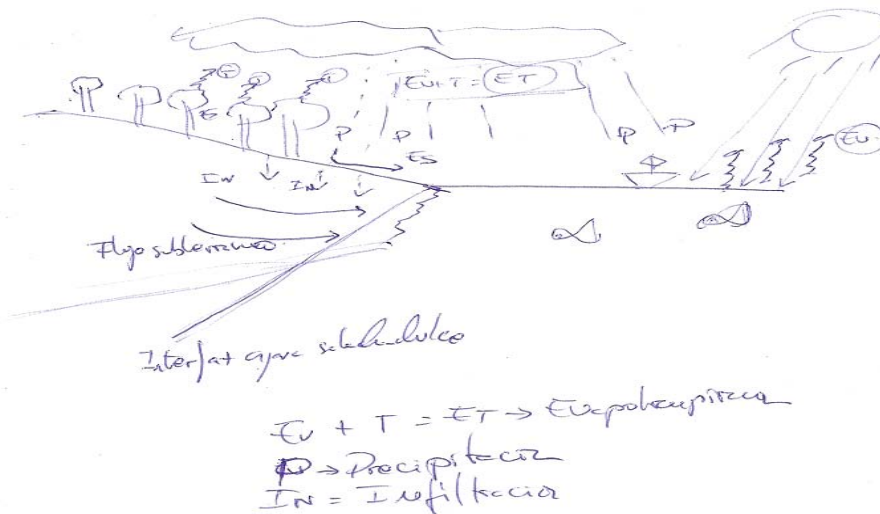


Figura 7.- Ejemplo ilustrativo del modelo de representación del ciclo del agua Tipo 6 o "integrador", donde se aprecia recarga por infiltración, flujo subterráneo y descarga al mar.

El modelo Tipo 6 dibuja la entrada y salida del agua, por lo que Márquez y Bach (2007) lo denominan modelo integrador. Este modelo, no obstante, aunque es recogido en las imágenes realizadas por los estudiantes puede estar cargado de ideas erróneas, como la representación del agua en ríos subterráneos o masas a modo de cuevas, tal y como se aprecia en los dibujos de la figura 8. Es por ello que este modelo puede diferir bastante del

modelo de Fluyendo en poros establecido en la presente investigación como el más cercano al pensamiento científico.

A lo anterior se puede añadir que un 79,60% (Figura 9) de los estudiantes que representan gráficamente el modelo Tipo 6, manifiestan un modelo erróneo a través de la triangulación. Esto lleva a pensar en una diferenciación importante, para una mayoría, entre lo que quizá conocen y lo que son capaces de expresar gráficamente. Del mismo modo, hay casos que mostrando modelos correctos de Localización y flujo, no representan gráficamente de modo adecuado el agua subterránea, al clasificarse sus dibujos en modelos de representación del ciclo del agua poco evolucionados.

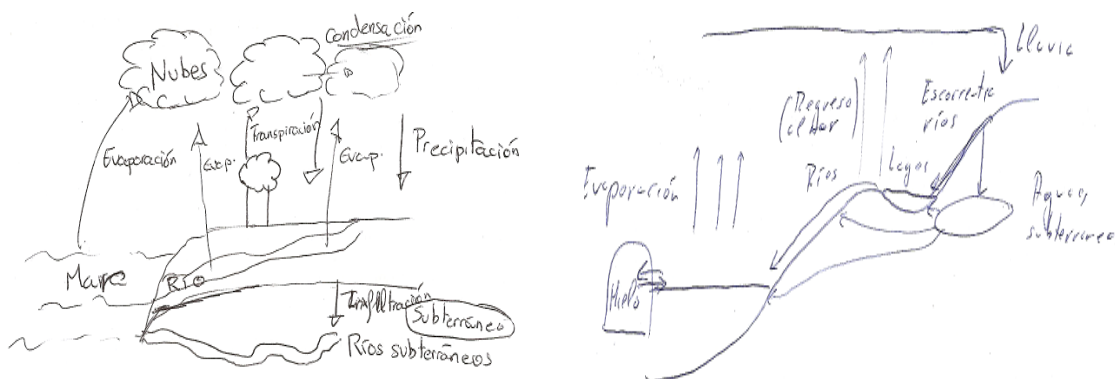


Figura 8.- Representación gráfica de dos casos del modelo Tipo 6 ó Integrador con ideas erróneas como las de ríos subterráneos (imagen izquierda) o masas de agua a modo de cuevas (imagen derecha).

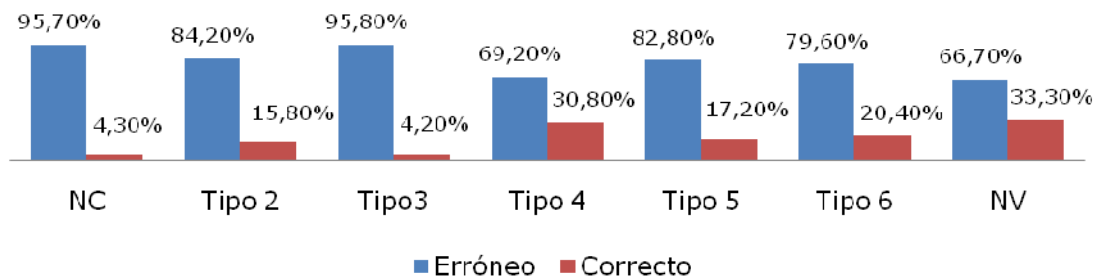


Figura 9.- Porcentajes relativos de tener o no el modelo correcto de Localización y Flujo subterráneo detectado mediante la triangulación de los diferentes modelos de representación del ciclo del agua reproducidos gráficamente por los estudiantes.

### Discusión y consideraciones para la enseñanza

Es notable el importante número de universitarios que localizan la procedencia del agua subterránea desde el mar a través de conductos subterráneos o del vapor interior del planeta. Este paralelismo entre los conocimientos sobre el agua subterránea de hace algunos siglos, en los que se pensaba en una procedencia marina, siendo admitida de manera axiomática y general desde los primeros tiempos de la cultura griega hasta el siglo XVII, momento en que se fue cambiando de paradigma, muestra un desconocimiento acusado, en algunos estudiantes, sobre el ciclo del agua y sobre los conocimientos relativos a cómo es el interior de la Tierra.

Por otro lado, es desatinado pensar que estos pensamientos son una extraña excepción. En sondeos que los investigadores del presente estudio realizaron en el pensamiento popular (Fernández Ferrer, 2009), se ha observado que hay multitud de "leyendas" que compiten con la realidad en la mente de la gente. A modo de ejemplo, destacamos la relativa a las lagunas de Sierra Nevada, a las que el pensamiento popular llama "ojos de mar", y que las caracteriza por no tener fondo y comunicarse directamente con el mar.

La dificultad de entender el agua circulando entre los poros de los materiales, lleva a los estudiantes a plantear el modelo "Estancada en poros", donde se entiende la existencia de una porosidad de los materiales que favorece la posibilidad de albergar agua, pero donde no se aplica su cualidad de permeabilidad que le favorecería el movimiento, lo que indicaría probablemente un desconocimiento este concepto, hecho ya recogido en estudios previos (Cortés-García, 2004, 2006).

Por otro lado, se describen los modelos de "Estancada en poros y río subterráneo" y "Lago subterráneo y movimiento en poros", donde para explicar el movimiento del agua se crea la idea de río subterráneo en el primero, o limita el movimiento a casos excepcionales a través del terreno y localiza mayoritariamente el agua en estado estático, en el segundo. Estos modelos, junto al de "Estancada en poros y fisuras", los podemos considerar evolucionados y al mismo tiempo, distorsionados, fruto de un aprendizaje poco significativo, en los que para intentar acomodar los esquemas de conocimiento nuevos, se crean modelos de cambio inestables. Estos modelos de cambio son considerados inestables por estar sujetos a un mayor grado de inconsistencia, hecho verificado en el presente estudio.

Es por lo dicho anteriormente, que la inconsistencia detectada a través de los datos de las dos técnicas utilizadas, cuestionario y entrevista, se puede explicar en algunos casos por la falta de estabilidad de los modelos creados en el pensamiento de los estudiantes tras el proceso de enseñanza-aprendizaje, y que redundaría quizá en una falta de base en contenidos geológicos.

Al practicar la triangulación de las variables del cuestionario, es destacable el importante número de casos, en los que ha sido imposible conocer el modelo que sustentaban. Estos coinciden por un lado, con las combinaciones no válidas obtenidas por la falta de respuesta a alguna de las cuestiones, y por otro, con la caracterización de modelos incongruentes que agrupan a los sujetos que no contestan de modo coherente al cuestionario. No obstante, a través de las entrevistas a una muestra de estos casos se ha podido determinar un modelo.

Para fundamentar las posibles causas del hecho descrito anteriormente, se pueden considerar las siguientes: a) falta de intencionalidad de respuesta, b) existencia de distintos esquemas de conocimiento que compitan ante una situación determinada, c) existencia de un componente latente de difícil acceso que enmascare lo que realmente sabe el sujeto, d) esquemas de conocimiento poco consolidados en el pensamiento del sujeto.

La falta de intencionalidad al cumplimentar adecuadamente el cuestionario, coronada con contestaciones "ad hoc" para salir del paso o

inhibición de respuesta, y disipada por los requerimientos de la entrevista, puede explicarse con la observación de casos, que habiendo cursado la asignatura de Hidrogeología, no contestan a alguna de las cuestiones, entendiendo que deben poseer esquemas de conocimiento sobre la temática, aunque sea erróneos, suficientes como para optar por alguna cuestión.

Por otro lado, puede explicarse decantando las opciones hacia la hipótesis de que coexisten diversos esquemas de conocimiento que compitan ante una situación, y que según la cuestión planteada del cuestionario, se activen unos u otros. O que exista un componente latente de difícil acceso a través de las condiciones impuestas por la prueba, que enmascare lo que realmente conocen los sujetos.

“Las ideas que los alumnos manifiestan y que se delimitan directamente a través de los cuestionarios y entrevistas, no serían en sí mismas las concepciones que éstos poseen sino sus manifestaciones externas mediatizadas por factores tales como el contexto o la tarea, se podría disponer de un determinado esquema y no activarlo para una situación concreta aunque sí en otra, y de ahí que el conocimiento se considere un componente latente que no siempre es exteriorizable” Oliva (1999).

Por último se añade la interpretación de unos esquemas de conocimiento poco sólidos en el pensamiento del sujeto y con facilidad para el cambio y distorsión, quizá fruto de un aprendizaje poco significativo. Hecho apuntado anteriormente en el comentario de los sujetos con modelo de cambio inestable, y que en estos casos también puedan influenciar las contestaciones incongruentes o la inhibición de respuesta.

Otra dato destacable es la influencia diferencial de la materia de Hidrogeología en los estudiantes de Geológicas y Ambientales. Interpretándose el aprendizaje menos significativo de los segundos como la falta de base en contenidos geológicos, tales como la disposición espacial de los materiales en el interior de la corteza terrestre, que indudablemente los primeros sí poseen. Este hecho puede suponer otra dificultad para entender adecuadamente la localización y dinámica del agua subterránea por parte de estudiantes de cualquier edad, y que puede coincidir con la idea recogida por Dickerson y otros (2007) sobre la necesidad de “prestar mayor atención en la enseñanza a las habilidades de razonamiento espacial”.

La utilización de la técnica de las entrevistas como medio de detección de los modelos de los estudiantes ha favorecido el conocimiento de modo más amplio y profundo. Se ha podido confrontar cómo son por ejemplo los “Ríos” o “Lagos subterráneos”, los cuales, aunque llamados del mismo modo son de características diferentes según los sujetos.

Por último, señalar la necesidad de plantearse una alfabetización en el lenguaje icónico-gráfico y oral-dramático a lo largo de la escolaridad de los estudiantes, superando la clásica y casi exclusiva preparación en el lenguaje escrito de la enseñanza tradicional, y que en particular en estudiantes universitarios de ciencias se reitera con pruebas académicas que se centran mayoritariamente en pruebas escritas. Esto es así, por las repetidas apreciaciones realizadas por los estudiantes para manifestar las dificultades



encontradas a la hora de expresar sus ideas, utilizando el lenguaje oral o gráfico, hecho también percibido por los investigadores del presente estudio en otro relativo al análisis de imágenes y recogido en González y Fernández (2010).

El diagnóstico reseñado en el presente estudio determina una carencia importante del alumnado universitario en el conocimiento del agua subterránea. Es por ello, que sería deseable una toma de conciencia por parte del profesorado en general y consecuente planificación de medidas de mejora en sus prácticas, en relación a esta temática fundamental. Al tiempo que desde otras instituciones sería de esperar un planteamiento de medidas para una alfabetización de la ciudadanía adecuada sobre el ciclo del agua en general y el agua subterránea en particular.

### **Referencias bibliográficas**

Bach, J. (2001). Los recursos hídricos y el sistema de Cuenca. *Alambique*, 27, 69-80.

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

Bar, V. (1989). Children's views about the water cycle. *Science Education*, 73, 4, 481-500.

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

Carrascosa, J. (2005a). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte I). Análisis sobre las causas que la originan y/o mantienen. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2, 2, 183-208.

Carrascosa, J. (2005b). El problema de las concepciones alternativas en la actualidad (parte II). El cambio de concepciones alternativas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 2, 3, 388-402.

Cortés-García, A.L. y J. San Román (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: Prensas Universitarias de Zaragoza.

Dickerson, D.; Callahan, T.J.; Sickie, M.V. y G. Hay (2005). Students'conceptions of Scale Regarding Groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 53, 4, 374-380.

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

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

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. En <http://0-hera.ugr.es.adrastea.ugr.es/tesisugr/18323406.pdf>.

Fernández-Ferrer, G. y F. González (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*, n°11 (pp. 147-156). Madrid: Instituto Geológico y Minero de España.

Fernández-Ferrer, G.; González, F. y F.J. Carrillo (2008). Los contenidos relativos con las aguas subterráneas en los textos de estudio, más allá del modelo kárstico. M.R. Jiménez (Ed.). *Ciencias para el mundo contemporáneo y formación del profesorado en Didáctica de las Ciencias Experimentales. Actas de los XXIII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales*, (pp. 1069-1078). Almería: Editorial Universidad de Almería.

Fernández-Ferrer, G.; González, F. y L. Mayoral (2009). Análisis de las representaciones icónicas del agua subterránea en los textos de educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VIII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Barcelona, (pp.1602-1606).

En: <http://ensciencias.uab.es/congreso09/numeroextra/art-1602-1606.pdf>.

Furió Más, C.J. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 7, 7-17.

González, F. y G. Fernández-Ferrer (2010). Diferencias entre analizar, explicar y producir una imagen: Aplicación al estudio de los esquemas de conocimiento sobre aguas subterráneas en estudiantes universitarios. *Actas del II Congres Internacional de Didàctiques*. Girona.

Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: Harvard University Press.

Márquez, C. y J. Bach (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.; Izquierdo, M. y M. Espinet (2003). La comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*, 21, 3, 371-386.

Moreira, M.A. (1996). Modelos Mentais. Investigações em Ensino de Ciências. PortoAlegre, 1, 3, 193-232.

Oliva, J. (1999). Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17, 1, 93-107.

Pereira, M.P. y M.E.M. Pestana (1991). Pupils' representations of models of water. *International Journal of Science Education*, 13, 3, 313-319.

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 F. Amador (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 subterrâneas, realizado com alunos do 12º ano do ensino secundário. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7, 3, 205-214.




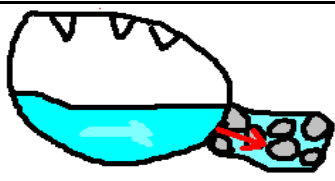


Taiwoo, A.; Ray, H.; Motswiri, J. y R. Masene (1989). Ons of the water cycle among primary school children in Botswana. *Percepti International Journal Science Education*, 4, 413-429.

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.

**Anexo 1.-** Categorías de análisis de las diferentes variables del cuestionario. La descripción de las categorías coincide con los ítems planteados a los estudiantes en el cuestionario.

<b>Variables</b>	<b>Categorías</b>	<b>Descripción (o ítems del cuestionario)</b>
1. Concepto de acuífero	Formación geológica	Material geológico con capacidad para contener y transmitir agua
	Río subterráneo	Un acuífero es un río subterráneo
	Lago subterráneo	Un acuífero es un lago o balsa subterránea
	Lago y río subterráneo	Un acuífero puede ser un lago y un río subterráneo
	Embalse	Es un embalse subterráneo de agua estancada que se aloja en cuevas
2. Localización y flujo	Lago subterráneo	El agua está en una balsa o lago subterráneo, parada, que puede rebosar por un manantial o ser extraído por un pozo
	Río subterráneo	El agua está moviéndose en ríos subterráneos excavados por el propio agua y que desembocan en un manantial o son pinchados por un pozo
	Fluyendo en poros	El agua está fluyendo entre los poros y fisuras de las formaciones geológicas
	Lago y río subterráneo	El agua está parada en lagos subterráneos o en movimiento a través de ríos subterráneos, dependiendo del terreno
	Estancada en poros	El agua está estancada en los poros y fisuras de las formaciones geológicas que albergan agua
3. Procedencia	Mar y conductos	Los sujetos mantienen la procedencia marina del mar a través de conductos y canales subterráneos, ya que todas las aguas proceden del mar y allí retornan posteriormente
	Infiltración y con ríos subterráneos	El agua procede de la infiltración del agua de lluvia y del deshielo que discurre a través de ríos subterráneos
	Mar y vapor	El agua procede del mar a través de una serie de sumideros que succionan el agua hasta el interior de la Tierra, subiendo a las capas superficiales en forma de vapor por el calor interior y haciéndose de nuevo líquidas al salir a la superficie
	Infiltración sin ríos subterráneos	El agua procede de la infiltración vertical causada por la gravedad hasta llegar a una zona donde las rocas están saturadas en agua y desde allí siguen moviéndose a través de los poros de las rocas hasta una zona de descarga, no existiendo los ríos subterráneos
	Vapor interior y lagos	El agua procede de lagos subterráneos formados por el vapor de agua interior de la Tierra

**Anexo 2.-** Modelos de localización y flujo obtenidos en el presente estudio tras la correlación de los datos de la entrevista y triangulación de las variables del cuestionario.

Modelo	Dinámica del flujo	Emplazamiento físico	Esquema representativo
Fluyendo en poros	Movimiento	Poros y fisuras	
Estancada en poros	Parada		
Estancada en poros y ríos subterráneos	Parada y movimiento	Poros-fisuras y ríos (ríos para explicar el movimiento)	
Lago subterráneo y movimiento en poros	Parada y movimiento	Dos zonas: lago o acuífero y movimiento por terreno	
Lago subterráneo	Parada	Cueva (conexión con exterior por desbordamiento)	
Río subterráneo	Movimiento	Conductos (no conectados a lugar concreto)	
Lago y río subterráneo	Parada y movimiento	Cueva y conductos (ríos y lagos no siempre comunicados)	