

EL TRABAJO CON MODELOS EN AGUAS SUBTERRÁNEAS¹

Working with scalemodels on groundwater

Mercedes Calvo; Carmen Reyer; M^a Pilar Vidal; Juan Gabriel Morcillo; Eugenia García (*)

RESUMEN

En este artículo se describen las fases de diseño y construcción de modelos utilizando materiales asequibles (gravas, arenas y arcillas), con los que se representan distintos tipos de acuíferos. Su utilización con los alumnos facilita la comprensión de los aspectos más básicos relativos a la dinámica de las aguas subterráneas.

ABSTRACT

This paper describes the construction and desing phases of groundwater models using easily available materials (gravel, sand, and clay), to represent their different types. The use of such models enables students the comprehension of the most basic aspects of groundwater dynamics.

Palabras clave: *aguas subterráneas, enseñanza-aprendizaje, modelos, actividades prácticas.*

Keywords: *groundwater, teaching-learning, models, practical activities.*

INTRODUCCIÓN

Es difícil comprender algo cuando no es posible verlo. En el caso de las aguas subterráneas, su invisibilidad ha sido unánimemente considerada como la causa fundamental del desconocimiento que de ellas existe por buena parte de los ciudadanos en general, y, en ocasiones, también explica la escasa atención y deficitaria gestión por parte de las administraciones públicas y otros gestores y usuarios del agua (Llamas et al. 2000, 2001; Fornés y Senderos 2002).

Al carecer de referencias directas, hay una dificultad manifiesta para imaginar y generar modelos mentales que ayuden a entender lo que ocurre en la fase subterránea del ciclo del agua. En este sentido son muy numerosas las investigaciones acerca de ideas previas, errores conceptuales y dificultades de enseñanza-aprendizaje, ideas que son analizadas bien desde el punto de vista de las aguas subterráneas dentro del contexto del ciclo hidrológico, o mediante estudios centrados específicamente en concepciones acerca de las aguas subterráneas. Entre dichas investigaciones, llevadas a cabo en diferentes ámbitos y con diferentes sujetos (alumnos de todos los niveles educativos, profesores en formación y en ejercicio, ciudadanos en general) podemos citar los trabajos de Hudak y Heson (1988), Bar (1989), Colomer et al. (1993), Yus (1994), Massa (1994a), Haguenuer (1995), Dove et al. 1999, Trop et al. (2000), Ben-Zsi-Assaraf y Orion (2005a, b), Dickerson y Dawkins (2004), Dickerson et al. (2005), García García et al. (2006).

Por otra parte, los esquemas, conceptos y explicaciones que acerca de las aguas subterráneas se encuentran en los textos escolares y manuales, pueden sugerir ideas erróneas, o carecen a veces de sentido para quien los lee, o no siempre se interpretan correctamente. Estas dificultades se traducen en obstáculos para entender la naturaleza y funcionamiento de dichas aguas, así como la necesidad de apoyar e impulsar medidas racionales de gestión, utilización, y preservación de los acuíferos.

Nuestro grupo de trabajo, centrado en la formación del profesorado, conoce por experiencia directa las dificultades acerca de la comprensión de este tema en los futuros profesores de Primaria y Secundaria, dificultades que hemos constatado mediante análisis de ideas en nuestros alumnos (Agra-Cadarsó et al. 2003, García García et al, 2006). Los problemas que hemos detectado, concuerdan a grandes rasgos con los señalados por otros autores acerca de las aguas subterráneas, y afectan tanto al proceso de aprendizaje de estos alumnos durante su período de formación como profesores, como a los de enseñanza-aprendizaje a los que deberán enfrentarse con sus futuros alumnos. Esto nos ha llevado a buscar enfoques didácticos y materiales de apoyo que paliaran en parte los obstáculos, y facilitarían la comprensión de los aspectos más básicos relativos a las aguas subterráneas.

La enseñanza-aprendizaje de las aguas subterráneas a través de diferentes tipos de modelos, y en diferentes niveles educativos, no es una metodología nueva (Haguenuer 1994,1995; Dowse,

(*) Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Facultad de Educación. UCM. mercep@edu.ucm.es creyero@edu.ucm.es pividal@edu.ucm.es morcillo@edu.ucm.es euggarci@edu.ucm.es

(1) Este artículo forma parte del Proyecto de Innovación Educativa PIE 2003/41 subvencionado por la UCM.

2000; Trop et al. 2000; Becker y Schuetz 2003). En nuestro caso, el material didáctico en el que hemos trabajado se ha centrado en la elaboración de modelos sencillos, que ofrecen la oportunidad de visualizar en tres dimensiones lo que con frecuencia en los textos aparece en sólo dos y que, a pesar de su pequeño tamaño, permiten percibir la dinámica de las aguas subterráneas, frente a las ilustraciones estáticas en las que el movimiento está, como mucho, ilustrado mediante flechas o cambios de coloración.

Somos plenamente conscientes de las inexactitudes que pueden derivarse de la utilización de modelos tan simplificados de una realidad extraordinariamente compleja, y de que se van a obviar variables y factores importantes. Es necesario insistir a los alumnos que dichos modelos simulan la realidad pero no son la realidad, ya que, como es sabido, tienden a identificar ambos (Pozo 1997), así como de la enorme diferencia en las escalas para no afianzar percepciones erróneas de este sentido (Dickerson et al. 2005).

Aún a pesar de estos riesgos, y dada la dificultad por parte de los alumnos para imaginar espontáneamente las aguas subterráneas (Massa 1994b), conociendo que carecen de un modelo aceptable de circulación freática en medios porosos (Yus 1994), y tomando como punto de partida experiencias como las llevadas a cabo por otros autores (Castro y Gracia 1994), los modelos permiten trabajar aspectos que clarifican algunas ideas básicas, dada la inaccesibilidad del objeto de estudio.

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE LOS MODELOS

Los modelos simulan acuíferos en formaciones geológicas formadas por materiales permeables (gravas, arenas) e impermeables (arcillas). Si el caso lo exige, se puede simular un cierto grado de cementación o consolidación de los materiales sueltos, como se verá más adelante. Las estructuras que se trabajan son las que convencionalmente aparecen en los textos, y que tratan de explicar diversos tipos de acuíferos, fuentes, esquemas sencillos de circulación freática etc. La idea que subyace es que los alumnos transfieran los esquemas que ilustran sus textos a modelos tangibles.

Existen en el mercado algunos materiales ya comercializados de indudable utilidad, pero también de elevado precio, y de un tamaño que, dependiendo del tipo de trabajo que se intente realizar, resulta en ocasiones poco manejable. Nuestra propuesta se basa en utilizar materiales baratos y asequibles, y el grado de sencillez o complejidad de los mismos depende, según el criterio del profesor, del nivel de los alumnos, de los objetivos que se pretendan conseguir, del grado de profundización que se pretenda alcanzar, e incluso del tiempo disponible para este tipo de trabajo.

Las posibilidades de utilización de los mismos entran dentro del ámbito del aula o del laboratorio:

- El laboratorio, es desde luego, el lugar idóneo para trabajar con estos materiales dadas las condi-

ciones materiales de este espacio, tanto en la fase de construcción de los modelos como en la de resolución de problemas en la fase de funcionamiento de los mismos.

- Al aula se pueden trasladar y utilizar modelos ya contruidos, y se pueden presentar en forma de problemas planteando preguntas (¿Qué es esto?, ¿Qué estructura tiene?, ¿Qué materiales lo forman?, ¿Qué características presentan estos materiales?, ¿Qué ocurre si se añade agua?, ¿En qué lugares se infiltraría y por qué?, ¿Qué recorrido seguiría el agua infiltrada?, ¿En qué circunstancias el modelo funciona?, ¿En qué otras no lo haría? etc.)

Los recipientes que se han utilizado son cajas, cubetas o recipientes de plástico de diferentes tamaños comprados en bazares o en la sección de menaje de cualquier gran superficie:

Los materiales son diferentes tipos de gravas, arenas y arcillas, bien recogidas directamente en el campo y tamizadas si es preciso, o bien compradas en establecimientos que comercializan materiales de construcción. Si se opta por esta última posibilidad, y dado la amplia gama que hay en el mercado, conviene analizar qué se compra y para qué pretende utilizarse, ya que no todos los tipos de materiales se comportan en los modelos como se espera. Por ejemplo, la tradicional “arena de miga” se comercializa a veces mezclada con gran cantidad de partículas arcillosas, las cuales hacen descender la permeabilidad de las arenas: son un buen ejemplo para ilustrar a los alumnos sobre porosidad y permeabilidad en materiales formados por diferentes granulometrías, pero si no es este el objetivo, hay que lavar dichas arenas en chorro de agua a través de un tamiz para eliminar las granulometrías finas antes de proceder a su utilización.

El resto de los materiales van siendo demandados por la naturaleza de cada modelo: tubos de cristal o plástico de diferentes diámetros, jeringas para inyectar agua o sangrar pozos, siliconas, pegamentos, frascos lavadores, gomas, regaderas etc

Comentamos en síntesis las fases que siguen los alumnos en el proceso de construcción de los modelos:

- En primer lugar realizan un estudio y justificación teórica del tipo de modelo que pretenden construir, y de las características más básicas del mismo (tamaño, nº de alumnos del grupo que lo construyen, y número que posteriormente van a trabajar con él, etc). En esta fase se diseña el modelo en dos dimensiones y a pequeña escala (Fig. 1). Se realiza un primer cálculo del tipo y cantidad de materiales a utilizar.

- Se adecua el tamaño del esquema al del recipiente en el que se vaya a construir, y se realizan dos copias en papel de transparencias, que se colocan en el exterior de los dos laterales del recipiente (Fig. 2), para que sirvan de guía en la construcción de las estructuras geológicas que queremos representar en cada modelo. Si no se disponen de estas guías es fácil se vayan produciendo modificaciones en principio imperceptibles entre los laterales del recipiente, pero que pueden hacer que el modelo fi-

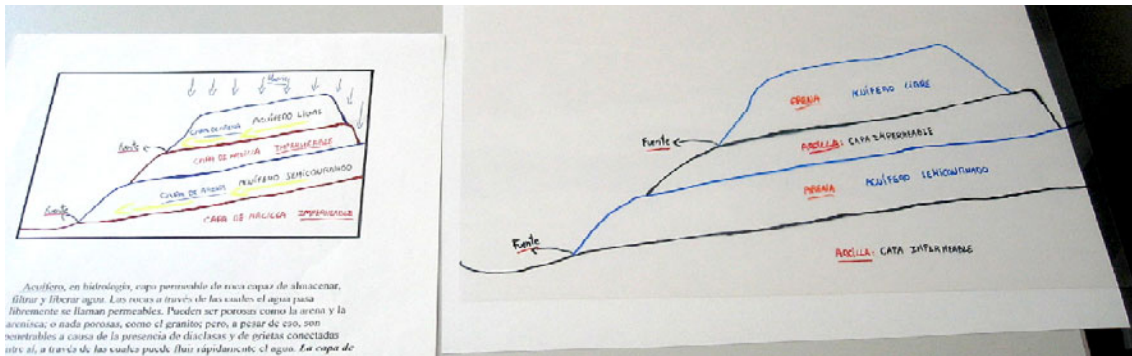


Fig. 1 Diseño y plantillas.

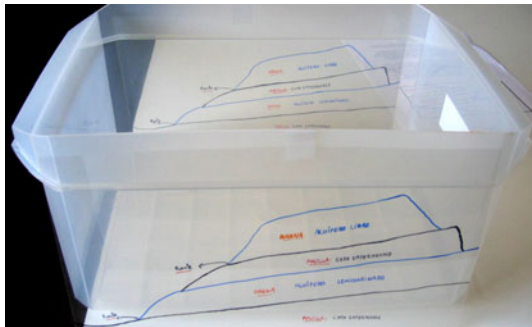


Fig. 2 Recipiente con dobles plantillas laterales.

nal no responda a lo que se pretendía. De esta forma el trabajo es más rápido, y eficaz. El modelo se va construyendo siguiendo la plantilla. (Figs. 3 y 4).

Todos los modelos están dotados de “pozos” comunicados con el exterior. Se construyen practicando en el lugar elegido de alguno de los laterales de los recipientes, unas perforaciones con un destornillador o similar calentado a la llama de un mechero. En el orificio se insertan tubos de plástico

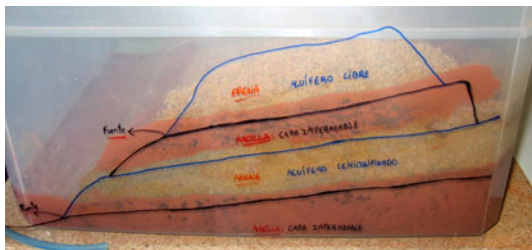


Fig. 3 Colocación materiales según plantilla.



Fig. 4. Modelo finalizado.

transparente y, para evitar pérdidas agua, se sella tubo a la pared del recipiente con plastilina o pegamento (Fig 5).

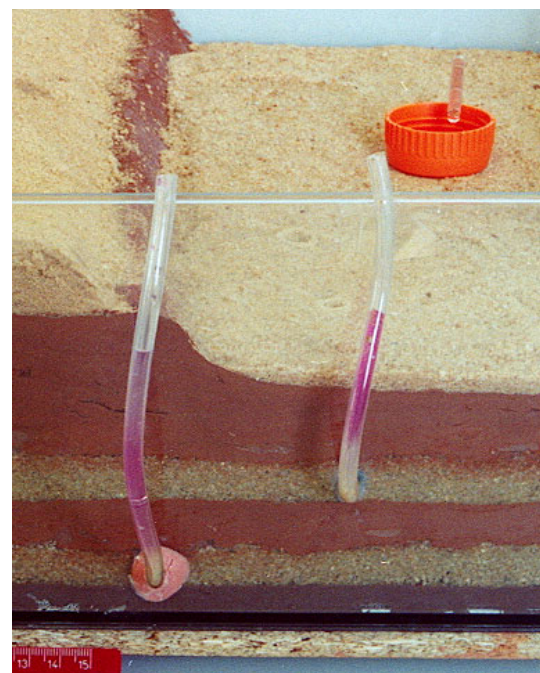


Fig. 5. Perforaciones laterales (pozos).

Esta ubicación externa es especialmente útil: permite desaguar los modelos cuando dejan de utilizarse; observar las subidas graduales de los niveles freáticos relacionando éstas con el proceso de alimentación; rellenar los acuíferos hasta los niveles necesarios con un mayor grado de precisión; alimentar o desaguar un acuífero cautivo (siempre que haya dos pozos, uno de entrada-salida de aire y otro para inyectar o extraer el agua). También se perciben más fácilmente las oscilaciones del nivel freático si se introduce por el extremo del tubo una pequeña cantidad de colorante. El nivel freático y sus oscilaciones se visualizan perfectamente, sin necesidad de tener que colorear todo el agua del interior del modelo. Tras probar varios colorantes nos decantamos por la utilización de permanganato potásico, por su fuerte poder de tinción y facilidad de lavado posterior.

Si coloreamos el agua colocando en la superficie de un modelo cristales de colorante, permite asimismo percibir con claridad la posición del nivel freático (NF), y la circulación de las aguas a través de los materiales. La figura 6 es un ejemplo, en el que se simulan procesos de contaminación de acuíferos subterráneos.

Las primeras aproximaciones de los alumnos a las ideas más básicas de la circulación subterránea, las establecemos mediante diversas cuestiones planteadas ante una serie de recipientes iguales (Fig.7), en los que se han introducido materiales de diferen-



Fig. 6. Coloración aguas con permanganato potásico.

tes granulometrías hasta ocupar volúmenes similares. Se trata en principio de formular cuestiones básicas acerca del concepto de nivel freático, porosidad y permeabilidad de las rocas, relaciones entre el tamaño de los poros y la velocidad de circulación de las aguas etc., es decir conceptos básicos que ya conocen a nivel teórico pero cuya comprensión última están aún lejos de alcanzar (Cortés, 2004).

ALGUNOS MODELOS

Como ejemplo de las posibilidades didácticas que encierran, en este artículo se muestran y descri-



Fig. 7. Recipientes con arenas y arcillas.



Fig. 8. Acuíferos libres y confinados.



Fig. 9. Niveles piezométricos.

ben sólo algunos de los modelos con los que hemos trabajado, que sirven para ilustrar aspectos “tradicionales” en los contenidos del tema de aguas subterráneas en los textos.

El modelo correspondiente a las figuras 8 y 9, se ha construido con dos tipos diferentes de arenas y con arcillas. Lo hemos utilizado para ilustrar las características de los acuíferos libres y confinados, y del funcionamiento de las cuencas artesianas. En ambos acuíferos se han practicado pozos exteriores que permiten intuir la presión a la que se encuentran las aguas, y visualizar la altura del nivel piezométrico, percepción facilitada al haber introducido un cristal de Dicromático Potásico. Las arenas superiores funcionan como acuíferos libres.

En la superficie del modelo, a la derecha (Fig 9), se ha perforado un pozo (en este caso con un tubo de cristal de laboratorio curvado a la llama de un mechero) hasta alcanzar las arenas del acuífero confinado (A) originándose un pozo artésiano surgente, cuyo caudal vierte espontáneamente a un pequeño recipiente colocado al efecto (Fig. 10).



Fig. 10. Detalle surgencia artésiana.

Figura 11. Parecido al anterior, pero con una estructura diferente. Se trata de un sinclinal formado por una alternancia de arenas y arcillas. Los dos pozos exteriores muestran claramente las variaciones del nivel freático y piezométrico a medida que se alimenta de agua, e ilustran el funcionamiento de los pozos artesianos surgentes (A) y no surgentes (B). Las arenas superiores del núcleo del sinclinal funcionan como acuífero libre.

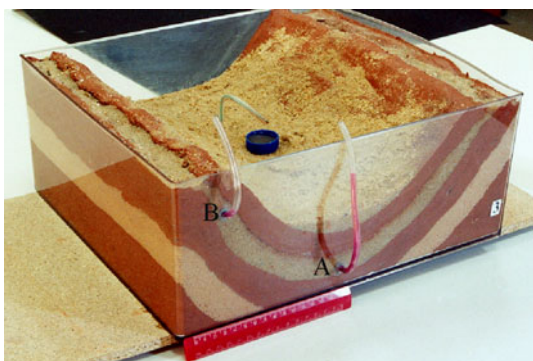


Fig. 11. Pozos artesianos surgentes y no surgentes.

Figuras 12 y 13. La estructura geológica representada corresponde a una alternancia de materiales permeables (arenas) e impermeables (arcillas) dispuestas horizontalmente. En cuanto a la topografía, representa un valle fluvial, cuyo cauce se encuentra excavado en unas arenas.

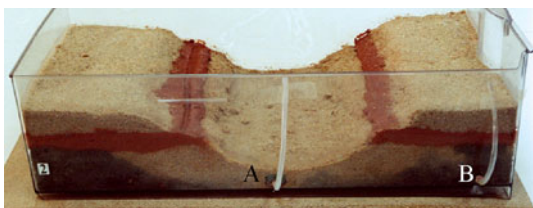


Fig. 12. Valle fluvial. Corrientes efluentes e influentes.



Fig. 13. Detalle valle fluvial.

Las arenas laterales superiores funcionan como acuíferos libres, cuya alimentación da lugar a fuentes de ladera sobre el techo de la capa de arcillas infrayacentes.

Para evitar la rápida “erosión” de estas arenas, que inutilizaría el modelo, se ha procedido previamente a “cementarlas”. Siempre que se requieren materiales con una cierta cementación procedemos de la siguiente manera: durante la fase de construcción las arenas ligeramente humedecidas se mez-

clan con unas cucharadas de algún tipo de “cemento” (nosotros hemos utilizado Alkil, de uso frecuente en manualidades). Tras amasarlas se colocan y deben dejarse secar antes de utilizar el modelo unas 24 horas. Si la cantidad de “cemento” que se utiliza es excesiva las arenas pierden casi totalmente su permeabilidad (los alumnos deben investigar la causa, y sacar conclusiones acerca de lo que ocurre en la naturaleza), y en caso necesario repetir esta parte, si la permeabilidad no es la buscada.

Con este modelo también se pueden estudiar diferentes situaciones en función de las condiciones climáticas:

En épocas de sequía, o en zonas áridas, se pueden simular corrientes influentes, cuando el río alimenta el nivel freático. Para ello, se procede a inundar el cauce fluvial, apreciándose una rápida subida del nivel freático en el pozo exterior central (A) ubicado bajo el cauce (Fot. nº 12), y pasados unos minutos la misma subida se observa en el pozo lateral (B), a medida que el agua del cauce se infiltra hacia las zonas laterales relleno el acuífero (Fot. nº 13). Esto nos permite percibir el sentido de dichas corrientes.

A la inversa, en épocas o zonas húmedas, se pueden originar corrientes efluentes, en las que el nivel freático alimenta al río. Se pueden simular si se vacía rápidamente el cauce fluvial (mediante un sifón, jeringa etc). Al cabo de unos minutos se puede observar como se vuelve a inundar dicho cauce por el drenaje de las zonas lateral.

Las posibilidades de simular las fuentes de ladera son muchas: la figura 14 muestra otro modelo realizado por los alumnos, sumamente sencillo e igualmente ilustrativo:

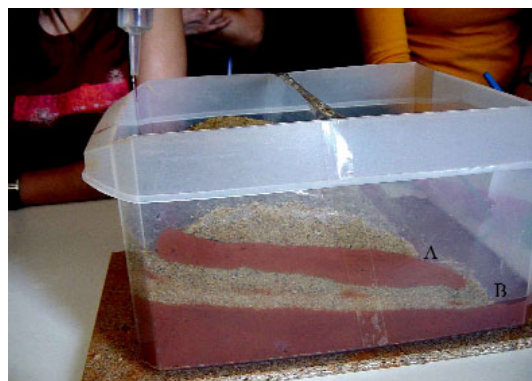


Fig. 14. Fuentes de ladera.

Se trata de una estructura alternante de arenas y arcillas con un suave buzamiento. Las arenas superiores han sido trabajadas con Alkil para asegurar su estabilidad; el modelo en funcionamiento permite visualizar dos fuentes de laderas (A) y (B), al drenar las arenas sobre las arcillas.

Figura 15. Se ha representado una serie replegada de arenas y arcillas, con pliegues muy laxos afectados por una falla directa. Este modelo representa esquemáticamente un corte en el que se apre-

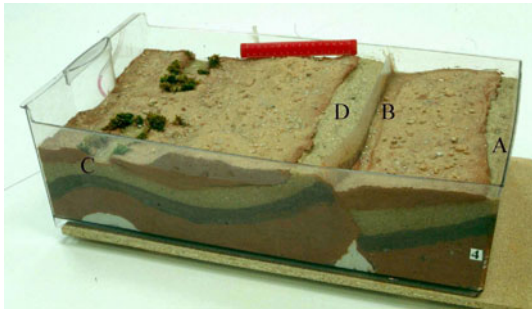


Fig. 15. Fuentes en falla. Oasis.

cion las condiciones favorables para la aparición de oasis y fuentes en fallas.

La construcción de la falla, se realiza colocando un plástico transparente relativamente rígido, e impregnado de aceite, en la línea del plano de falla, sobre el que se van colocando y apoyando los materiales. Dicha lámina plástica cumple la función geológica del plano de falla ya que constituye un plano de discontinuidad, sin el cual la simulación de las fuentes asociadas a esta estructura geológica sería más complicada. La alimentación de las arenas en la zona (A) origina unas surgencias a lo largo de la línea del plano de falla (B).

La zona de la charnela del anticlinal (C) nos permite ver la aparición de oasis en las zonas en las que, una hipotética deflacción local hace que el nivel freático corte de la superficie topográfica. Para hacer funcionar el oasis se alimenta el acuífero situado en las arenas que afloran a la izquierda de la falla (D). Modelos que muestren afloramientos espontáneos de agua en zonas más o menos extensas y que dan lugar a áreas encharcadas o pantanosas, ayudan a que los alumnos desechen la idea errónea de que los únicos afloramientos espontáneos de las aguas subterráneas son las fuentes.

Son muy numerosas las posibilidades de trabajo con estos materiales. En recipientes llenos de arenas, calculando previamente la velocidad de circulación de las aguas a través de las mismas, y bombeando agua con el caudal necesario se forman fácilmente conos de depresión. Conviene para esto que los materiales sean de grano fino, ya que el cono se forma mejor a esta escala si las aguas se mueven lentamente a través de los materiales. Para controlar con cierta precisión los caudales de bombeo, utilizamos los tubos de plástico de las sondas de suero de uso hospitalario, que llevan incorporadas válvulas de ajuste de salida del caudal, y las aguas infiltradas las coloreamos con dicromato para facilitar la percepción de la formación del cono.

Por el contrario, para simular procesos de contaminación utilizamos materiales de granulometría gruesa (gravas) de alta porosidad y permeabilidad, ya que los procesos se visualizan rápidamente dada la alta velocidad de circulación de las aguas. Para estos procesos de contaminación, establecemos en primer lugar un flujo de agua en los modelos (que representa el movimiento natural de agua en el subsuelo), añadiendo un caudal constante por un lado y

drenando un caudal equivalente por el lado opuesto. Una vez establecido un equilibrio entre entradas y salidas de agua, vertemos el colorante en el lugar preciso en función de lo que se intente simular (un vertedero, contaminación directa en pozos, contaminación difusa en zonas agrícolas etc). Si posteriormente se deja subir agua hasta que el nivel freático corte a la superficie del terreno, se percibe como dicha contaminación puede llegar hasta un lago, río, mar etc.

CONCLUSIONES

La necesidad de formar a la ciudadanía desde los primeros niveles de enseñanza en el conocimiento de las aguas subterráneas es un aspecto demandado desde muy diversos foros y considerado de especial urgencia en nuestro país (Llamas 2000, 2001, Forner y Senderos 2002, Fornés y Villarroya, 2002), en donde es frecuente la presencia de *hidromitos* o ideas erróneas acerca de diversos aspectos del uso del agua que son tomados como verdades indiscutibles. (Custodio y Llamas, 1997).

La construcción y utilización de los modelos anteriormente señalados supone, desde nuestra experiencia, una mejora sustancial ampliamente probada por nuestro grupo frente a la enseñanza tradicional mediante imágenes estáticas y planas. El bajo coste de los materiales, su fácil acceso y la posibilidad de que los propios alumnos diseñen estos modelos bajo la dirección del profesor, hacen que se trate de un material didáctico útil y eficaz. Por otra parte los modelos permiten visualizar tridimensionalmente estructuras geológicas que en el diseño original solo aparecen en el plano.

Aunque este artículo está orientado a mostrar las posibilidades de construcción de los modelos, y no hemos dado sino unas breves referencias a los aspectos didácticos, hemos de señalar que las fases de diseño y construcción suponen para los alumnos una herramienta de aprendizaje extraordinaria, en la que se enfrentan permanentemente a procesos de planteamiento y resolución de problemas tanto técnicos como geológicos. Nada en ningún modelo puede dejarse al azar, y esto ellos lo van descubriendo a medida que los construyen: rápidamente comienzan a darse cuenta de sus errores de diseño si este no responde a sus predicciones; de cómo y porqué deben retocarlo; o de qué problemas de funcionamiento se deben a desviaciones del modelo construido sobre lo diseñado; de porqué los materiales no responden a lo que ellos pretendían y qué otros serán más adecuados; de la importancia de pequeñas variaciones en los buzamientos que hacen que el flujo no sea el previsto; de los problemas que les plantea la mezcla de granulometrías, si no desean variaciones en la permeabilidad; o de la necesidad de una correcta colocación de la capa confinante si desean que un acuífero cautivo les funcione como tal. Nuestra experiencia nos permite afirmar que el mejor aprendizaje con estos materiales se produce no cuando los alumnos trabajan con modelos ya construidos y responde a lo previsto, sino

fundamentalmente durante las fases anteriores: siempre que se les plantea un problema concreto en un modelo específico y tienen que resolverlo, la solución tiene una lectura geológica. Comenzábamos este artículo aludiendo a la invisibilidad como el gran obstáculo para la comprensión de las aguas subterráneas. Si, como se ha señalado desde la psicología cognitiva “*lo que no se percibe no se concibe*” (Pozo et. al, 1991, 1998), nuestro objetivo al trabajar con estos materiales es ofrecer una base sobre la que nuestros alumnos puedan concebir las aguas subterráneas, ayudándoles a construir un modelo mental más cercano al científico acerca su naturaleza y funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Agra-Cadarso, M.J.; Calvo Pérez, M.; Reyero Cortiña, C.; Vidal Fuentes, M.P. (2003). Elaboración de material didáctico relacionado con el ciclo del agua. *Proyecto de Innovación Educativa 2003/41. Memoria Final*. (Inédita). Vicerrectorado de Estudios. UCM. Madrid.
- Bach, J. Brusi, D. (1988). Reflexiones y recursos sobre la didáctica del ciclo del agua. *Henares. Revista de Geología*, 2, 223-232.
- Bar, V (1989). Children's Views about the Water Cycle. *Science Education*, 73(4), 481-500.
- Becker, W.M.; Schuetz, J.W. (2003). An Introduction to Ground-Water Modeling Using Virtual Reality Modeling Language (VRML). *Journal of Geoscience Education*, 51 (5), 506-511.
- Ben-zvi-Assaraf, O. Orion, N. (2005a). A Study of Junior High Student's Perceptions of the Water Cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53, (4) 366-373.
- Ben-zvi-Assaraf, O. Orion, N. (2005b). Development of System Thinking Skills in the Context of Earth System Education. *Journal of Research in Science Teaching*, 42 (5), 518-560.
- Castro Encabo, M.J. Gracia Santos, J.J. (1994). Modelo a escala reducida del funcionamiento de acuíferos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (2.1), 272-278.
- Colomer, M. Durán, H. Gold, G. (1993). Conocimientos de geología en los estudiantes de Magisterio de la especialidad de Educación Primaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 1(3), 175-179.
- Cortés Gracia, A.L. (2004). Ideas sobre la permeabilidad en estudiantes de Magisterio. *Enseñanza de las Ciencias*, 22(1), 37-46.
- Custodio, E. Llamas, M. R. (1997). Consideraciones sobre la génesis y evolución de ciertos hidromitos en España. En “*En defensa de la libertad. Homenaje a Víctor Mendoza*”. Instituto de Estudios Económicos. Madrid, p 167-179.
- Dickerson, D.L.; Dawkins, K.R. ((2004). Eighth grade student's understanding of groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 52 (2), 178-181.
- Dickerson, D.L.; Callahan, T.J.; Van Sickle, M.; Hay, G. (2005) Student's Conceptions of Scale Regarding Groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 53 (4), 374-380.
- Douwse, M.E. (2000). Acuífer in a jug. *Journal of Geoscience education*, 46(1), 581.
- Dove, J. E.; Euerett, L.A.; Preece, P.F.W. (1999). Exploring a hydrological concept through children's drawing. *International Journal of Geoscience Education*, 21, 485-497.
- Fornés Azcoiti, J.M.; Senderos Domínguez, A. (2002). Las aguas subterráneas en la enseñanza española. *III Congreso Ibérico de Aguas*. Ed. Nueva Cultura del Agua. Sevilla.
- Fornés Azcoiti, J.M.; Villarroja, F. (2002). Educación e información sobre las aguas subterráneas en España. *XXII Congreso de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos*. Mar de Plata. Argentina
- García García, E. Morcillo Ortega, J. G.; Reyero Cortiña, C. (2006). El agua subterránea: ideas de los alumnos y evolución de las mismas a lo largo de una sesión de clase. *XXII Encuentros Didácticos de las Ciencias Experimentales*. Zaragoza
- Haguenauer, C. (1994). Éco-nappe. Pour comprendre et prévoir les variations des nappes d'eau. Institut National de la Recherche Pédagogique. París
- Haguenauer, C (1995a). Les cycles, modèles réducteurs et/ou concepts intégrateurs du savoir scientifique. En Giordan, A. et al. (Eds). *Actes des XVIIes Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation, et la Culture Scientifiques et Industrielles*. Chamonix.
- Haguenauer, C (1995b). Le recyclage, un concept actuel pour comprendre une science du passé tournée vers l'avenir. *Aster*, 21, 51-76.
- Haguenauer, C. (1995c). Savoir de l'ingénieur et savoir scolaire: conditions d'une transposition réussie en Hydrogéologie. En Giordan, A. Martinand, D y Raichvarg, D. (Eds). *Actes des XVIIes Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation, et la Culture Scientifiques et Industrielles*. Chamonix.
- Hudak, P.F., Heson (1988). Visualizing ground-water-flow fields and contaminant plumes in an underwater hydrogeology course. *Journal of Geoscience Education*, 46 (1), 132-136.
- Llamas, R.M.; Hernández-Mora, N. Martínez Cortiña, L. (2000). Uso intensivo de las aguas subterráneas. Aspectos éticos, tecnológicos y económicos. Serie A nº 1. El uso sostenible de las aguas subterráneas. *Papeles del Proyecto Aguas Subterráneas*. Fundación Marcelino Botín. Madrid.
- Llamas, M.R. y otros (2001). *Aguas subterráneas: retos y oportunidades*. Fundación Marcelino Botín. Ed. Mundi-Prensa.
- Massa, B. (1994a). Alfabetización en ciencia de la tierra: concepciones y obstáculos cognitivos sur le cycle de l'eau à l'école primaire. En Giordan, A. et al. (Ed.) *Actes XVI Journées Internationales sur la Communication, l'Éducation et la Culture Scientifiques et Industrielles*. p. 313-318. Chamonix.
- Pozo, J.I., Pérez, M.P. Sanz, A. Limón, M. (1991). Las ideas de los alumnos sobre la ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 83-94.
- Pozo, J.I. (1997). La crisis de la educación científica ¿volver a lo básico o volver al constructivismo?. *Alambique*, 14, 91-104.
- Pozo, J.I.; Gómez Crespo, M.A. (1998). *Enseñar y aprender ciencia*. Ed. Narcea. Madrid
- Trop, J.M.; Krockover, G.H; Ridway, K.D. (2000). Integration of field observations with laboratory modelling for understanding hydrologic processes in an undergraduate Earth-Science Course. *Journal of Geoscience Education*, 48, 514-521.
- Yus Ramos, R. (1994). Balsas de agua y ríos subterráneos. Representaciones de los alumnos sobre la circulación freática. Su tratamiento en la Educación Secundaria. *Actas VIII simposio Enseñanza de la Geología*. Córdoba, p.76-79. ■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 8 de noviembre de 2007 y aceptado definitivamente para su publicación el 9 de junio de 2008.