

EL CICLO HIDROLÓGICO: EXPERIENCIAS PRÁCTICAS PARA SU COMPRENSIÓN

The water cycle: practical experiences for its comprehension

Ángel de Miguel, Julio J. Lado, Virtudes Martínez (*), María Leal y Raquel García (**)

RESUMEN

Cuando se explican los procesos que se suceden en el ciclo hidrológico, el alumnado de primaria encuentra notables dificultades en su comprensión. Resultado de ello, es la existencia de percepciones erróneas en alumnos que llegan a la educación secundaria y a la formación superior sin entender conceptos como porosidad y acuífero. Por ello, el presente artículo trata de exponer una serie de experiencias prácticas que resuelvan este problema y que afiancen los conocimientos adquiridos en el aula de manera teórica. Con experiencias simples, reproducibles en clase, es posible establecer una base adecuada de conocimiento que permita a los alumnos entender los procesos que ocurren a su alrededor.

ABSTRACT

When explaining the processes that occur in the water cycle, the elementary students find great difficulties in understanding it. The result is the existence of some misconceptions in students when they arrive in secondary and higher education, without understanding concepts such as porosity and aquifer. Therefore, this article presents a series of practical experiments to resolve this problem and strengthen the acquired knowledge in theory class. With simple and reproducible experiences in class, it is possible to establish an appropriate basis of knowledge which enables students to understand the natural processes that occur around them.

Palabras clave: acuíferos, escorrentía, evaporación, infiltración, precipitación.

Keywords: aquifers, evaporation, infiltration, precipitation, runoff.

INTRODUCCIÓN

Los desarrollos curriculares han englobado desde hace tiempo el concepto de ciclo hidrológico (Marcén, 2006), dividiéndolo en etapas independientes sin contemplar las interrelaciones existentes. En cada una de esas etapas aparecen diferentes procesos físico-químicos, que por lo general han sido vinculados a determinadas localizaciones.

El ciclo hidrológico (Figura 1) “supone un movimiento o transferencia de masas de agua de forma continua como consecuencia de un flujo energético” (Pulido-Bosch, 2007). Se trata de un conjunto de procesos simultáneos interrelacionados. A pesar de ello, por motivos didácticos, se suele asumir que comienza en los océanos con la evaporación del agua. El calor del sol aporta la energía necesaria para romper los enlaces que mantienen unidas las moléculas de agua. Este proceso de cambio de estado de fase líquida a gas (vapor de agua) se denomina evaporación. Cuando la humedad relativa del aire es del 100% (punto de saturación) comienza la condensación, proceso por el cual el vapor de agua del aire se transforma en agua líquida dando lugar a la formación de nubes. Estas nubes en determinadas condiciones de presión y temperatura originan precipitaciones. La precipitación también puede ocurrir

en forma de nieve y acumularse en los glaciares. Su fusión, junto con el resto de precipitaciones da lugar al agua superficial y subterránea.

Una parte del agua superficial fluye hasta el mar. Otra parte se infiltra en el terreno y el resto, se evapora. El agua que se infiltra, atraviesa una zona no saturada, donde puede evapotranspirarse por acción de las plantas o fluir hasta el acuífero (zona saturada). Debido a las fuerzas de presión y de gravedad, el agua subterránea se mueve de zonas de mayor a menor potencial hidráulico. Además mantiene una estrecha relación con el agua superficial siendo sus aportaciones en muchos casos imprescindibles para mantener el caudal de los ríos. El ser humano es un agente activo del ciclo. El hombre ha intervenido en el ciclo del agua y lo ha logrado adaptar a sus necesidades (Toledo, 2006). La construcción de grandes presas, la sobreexplotación de los acuíferos, la promoción de la condensación y posterior precipitación del agua o la depuración de la misma, ejemplifican este hecho. El final del ciclo hidrológico en la mayor parte de los libros de texto es el mar. Si bien cabe destacar que el ciclo, como su nombre indica, no tiene inicio ni fin, sino que es una sucesión de procesos y movimientos que sufre el agua.

(*) IMDEA Agua. Parque Científico Tecnológico de la Universidad de Alcalá. c/ Punto Net nº4 2ª planta C.P. 28805. Alcalá de Henares. E-mails: angel.demiguel@imdea.org; julio.lado@imdea.org; virtudes.martinez@imdea.org.

(**) URJC c/ Tulipán s/n Departamental II, despacho 256. C.P. 28933. Móstoles. maria.leal@urjc.es; raquel.pacheco@urjc.es.

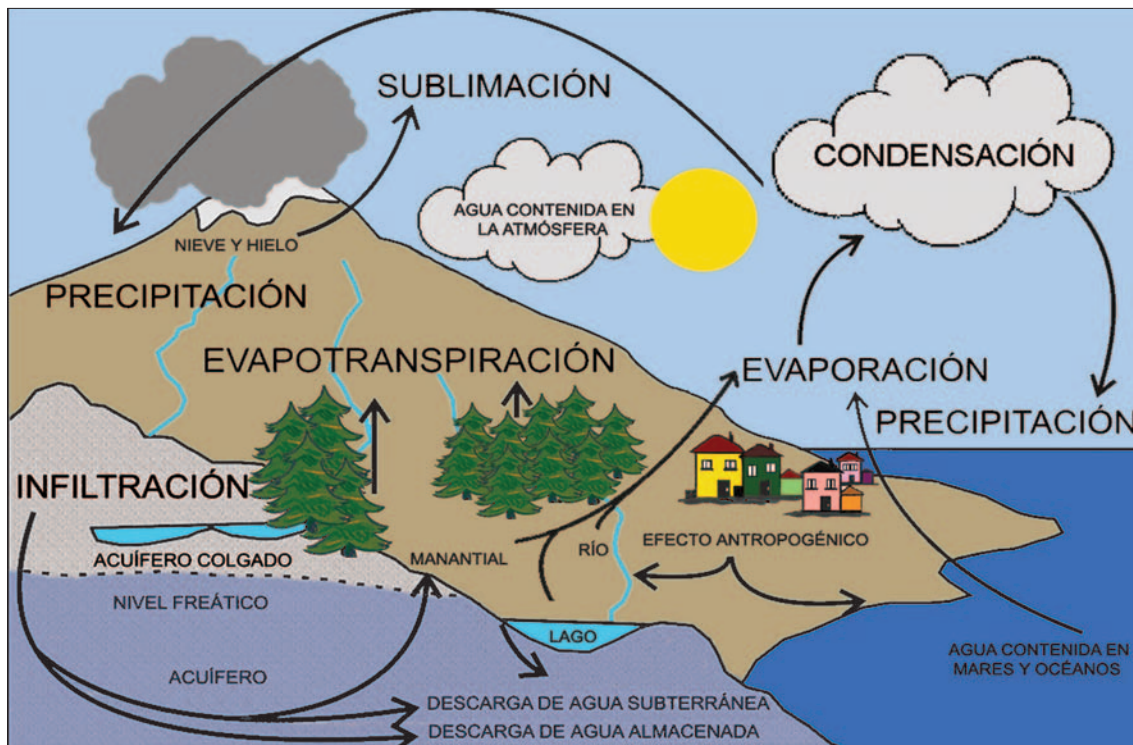


Fig. 1. Ciclo hidrológico.

PROBLEMATICA DETECTADA

El R.D. 1513/2006 recoge entre sus contenidos mínimos curriculares el agua como un concepto que debe formar parte del bloque “El entorno y su conservación”. En el primer ciclo de primaria se explica el concepto de agua como un recurso fundamental del medio físico, el segundo ciclo se centra en las interacciones del mismo con el medio físico (el ciclo del agua) y finalmente en el tercero la contaminación de este recurso.

Uno de los principales problemas detectados por algunos autores es que los escolares no relacionan los conceptos trabajados en el aula con aquellos aspectos de ámbito cotidiano relacionados con el tema (p.e., Fernández-Ferrer *et al.*, 2008; Cardak, 2009). Los estudiantes de primaria están muy familiarizados con los conceptos de agua, hielo y nieve y sin embargo, tienen muchas *ideas previas erróneas* relativas a los procesos en los que interviene el agua, y que serán detalladas más adelante.

El origen de esta problemática es muy variado (Gomez-Zwiep, 2008). Las dificultades en percibir aquellos procesos que se desarrollan en un intervalo espacial no apreciable por el ojo humano (Agelidou *et al.*, 2001; Dickerson *et al.*, 2005), se traducen en algunos errores conceptuales del ciclo del agua arraigados en la sociedad y que el alumno comparte (Bach y Brusi, 1988). Una fuente de confusión importante deriva del tratamiento que algunos libros de texto realizan con el concepto “agua” (Pozo y Gómez, 1998; Silva y Compiani, 2006) y de sus ilustraciones, en ocasiones incompletas y con simplificaciones poco

acertadas (Jiménez *et al.*, 1997; Perales y Jiménez, 2002). Es frecuente encontrar en distintas fuentes bibliográficas esquemas del ciclo del agua que ilustran “el viaje de una gota de agua” (siempre en estado líquido), precipitaciones en las zonas oceánicas prácticamente inexistentes o la omisión del agua subterránea (Reyero *et al.*, 2007). Otra parte de los problemas tiene su origen en la televisión, en internet y en la falta de especialización del personal docente.

Algunos aspectos son muy trabajados, tales como la importancia del agua para la salud y el mantenimiento de la vida, en detrimento de otros como la acción erosiva o, la ya citada, presencia de aguas subterráneas (Marcén, 2006). Respecto a este último, existen estudios que corroboran que el bajo índice de visualización de la componente subterránea del ciclo confirma la dificultad de comprensión intrínseca de su dinámica. (Márquez y Bach, 2008). Los trabajos de Bar y Travis (1991), Chang (1999) o Cardak (2009) demuestran que la mayoría de los alumnos tienen un conocimiento parcial del ciclo del agua, y que muchos de ellos tienen ideas erróneas o confusas acerca del mismo. Comprenden los diferentes procesos que conforman el ciclo del agua, pero no lo entienden en su conjunto, especialmente cuando estos conocimientos no se ven reforzados en la vida diaria y se trabajan sólo en las aulas.

A continuación se exponen algunas de las *ideas previas erróneas* detectadas por otros autores, relativas a los distintos procesos que se tratan en este trabajo:

- Evaporación y precipitación: el agua se evapora únicamente de los mares y océanos cuando hace

calor. Sin embargo, no consideran el papel desempeñado por el sol dentro del ciclo (Cardak, 2009). Además muchos alumnos no entienden la diferencia entre aire y vapor de agua y suelen pensar que las nubes están formadas únicamente por éste (Bar y Travis, 1991, Bar y Galili, 1994).

- Porosidad y permeabilidad: Las aguas subterráneas se almacenan en grandes lagos subterráneos (Agelidou *et al.*, 2001).

- Flujo de las aguas subterráneas: se trata o bien de aguas estáticas que “capturadas” en las rocas no se mueven, o bien de aguas dinámicas que forman ríos subterráneos (Agelidou *et al.*, 2001). En muchos casos ni siquiera son consideradas como parte del ciclo del agua (Fernández-Ferrer *et al.*, 2008).

- Aguas superficiales y escorrentía superficial: No se han detectado grandes errores, aunque sería importante incidir más sobre la acción modeladora del agua en el paisaje.

- Factor antropogénico: la mayoría de los alumnos no consideran la afección que el ser humano causa en las aguas superficiales y subterráneas (Ben-zvi-Assarf y Orion, 2005).

Debido a la presencia de estas *ideas previas erróneas* y a la baja efectividad de algunos métodos tradicionales de enseñanza, es aconsejable que los profesores empleen nuevas estrategias docentes encaminadas a solucionar el problema. Gran parte de estos errores conceptuales podrían resolverse usando un modelo 3D en las aulas. Los principales problemas de esta herramienta son su precio y su elevada complejidad operativa. Por eso, en este trabajo se explican diferentes experimentos prácticos relativos al ciclo del agua que han sido aplicados en distintos eventos dirigidos a estudiantes de primaria y secundaria: VII Semana de la Ciencia, Madrid 2008 (Fundación IMDEA Agua); IX Feria Madrid es Ciencia (IFEMA) y en los “Programas de Educación Ambiental” 2008 y 2009 de los municipios de Alcalá de Henares y Torrejón de Ardoz (a través de la asociación Glob Nature). Con el fin de lograr la reproducibilidad de los mismos en el aula, se han empleado materiales fácilmente disponibles y de bajo coste. Cada actividad se desarrolló en un tiempo máximo de 55 minutos. Para lograr una mayor interacción es recomendable que los alumnos trabajen en parejas.

EXPERIENCIAS PRÁCTICAS

1.- Evaporación - precipitación

Fundamento teórico

La evaporación y la precipitación constituyen dos partes muy importantes del ciclo hidrológico. Mediante la primera, el agua líquida pasa a estado vapor gracias a la energía del sol. Parte de este vapor se condensa, para lo cual en ocasiones es necesaria la presencia de ciertas partículas como el polvo y los aerosoles, y vuelve a la superficie a través de precipitaciones en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve) (Custodio y Llamas, 2001).

Ideas previas

Si bien existen diferentes ideas previas erróneas relacionadas con los procesos de evaporación y precipitación (como pueden ser no considerar al sol como motor del ciclo o que el agua evaporada y posteriormente precipitada es salada), quizá las más recurrentes y documentadas son las relativas a la condensación y al cambio de estado (p.e., Bach y Brusi, 1988; Marcén, 2006 y Cardak, 2009).

Las imágenes de los libros de texto suelen enlazar directamente la evaporación con las nubes, obviando el proceso de condensación (Márquez y Bach, 2007; Reyero *et al.*, 2007). De esta manera los estudiantes suelen pensar que las nubes están formadas sólo por vapor de agua. Puesto que la evaporación es representada en la mayoría de los casos en forma de gotas de agua, los alumnos no identifican un cambio de estado (Bar y Travis, 1991).

Objetivo

Conseguir que los alumnos entiendan porqué el agua de lluvia es dulce incluso cuando la fuente de evaporación es el mar o el océano y por otro lado, que entiendan como se producen los fenómenos de evaporación, condensación y precipitación.

Metodología

Los materiales necesarios para cada grupo son: colorante para comida, un cuenco, tres cucharadas de sal, una tacita, un cubito de hielo, agua caliente y papel film de cocina.

En primer lugar se debe verter agua caliente en un cuenco. En ella, se disuelven tres cucharaditas de sal y se añade un poco de colorante. En el centro del recipiente, y fijado al fondo, se pone un vaso pequeño vacío (Figura 2). Se tapa el bol con papel

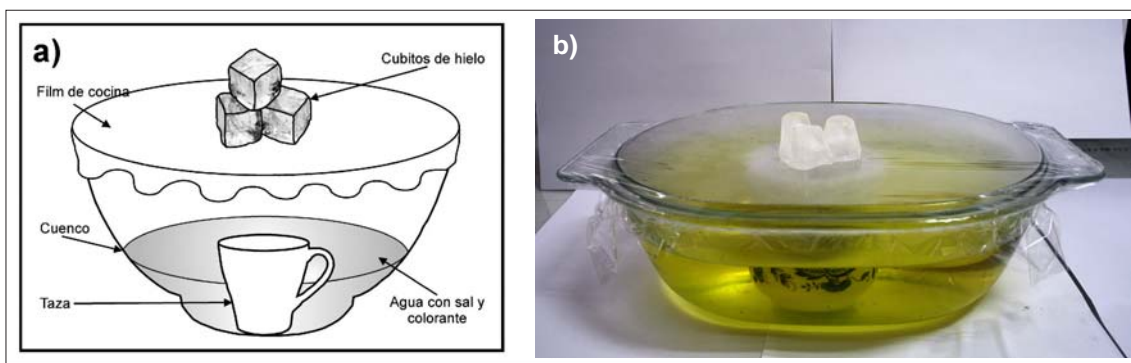


Fig. 2. a) esquema de la experiencia práctica evaporación-precipitación; b) fotografía del experimento.

film de cocina y en el centro del mismo se pone un cubito de hielo.

El agua caliente se evapora lentamente formando *niebla* sobre el plástico, especialmente en aquella zona donde se encuentra el cubo de hielo. Poco a poco se forman gotas de mayor tamaño que comenzarán a caer sobre la taza. Tras 2 horas se retira el plástico.

De esta manera el agua del *mar* es el agua salada del cuenco y las *nubes* son las gotitas que se forman en el plástico que posteriormente *precipitarán* en la taza del hueco. Así, este experimento permite hacer una simulación de la evaporación del agua del mar y de los océanos y la precipitación de agua dulce en los continentes.

2.- Porosidad - Permeabilidad

“La porosidad de un material viene expresada por la relación entre el volumen de su parte vacía u ocupada por aire y/o agua y su volumen total” (Custodio y Llamas, 2001).

Sin embargo, solo una parte de la porosidad total permite la circulación del agua. A esa parte de la porosidad total de una roca o depósito se la denomina *porosidad eficaz o efectiva*, que relaciona el volumen de agua extraíble del medio (agua gravífica) con el volumen total de material (Rebollo y Martín-Loeches, 2007).

La forma, el tamaño y la tipología de las partículas condicionan la porosidad y la porosidad eficaz del acuífero. En un depósito homogéneo, generalmente cuanto menor sea el tamaño de partícula, mayor es la porosidad total, pero menor es la porosidad efectiva debido a las fuerzas de retención. Por otro lado, cuanto más homogéneo sea el material, mayor es la porosidad tanto total como eficaz, en caso contrario, las partículas más pequeñas ocupan parte de los poros.

Ideas previas

Una de las ideas previas más generalizada es el concepto del agua subterránea de forma similar a

los lagos de superficie pero en profundidad. Otra concepción es que el agua penetra solo por las fisuras de las rocas (Ben-zvi-Assaraf & Orion, 2005). Ideas previas como estas, demuestran que los alumnos no entienden conceptos como la porosidad o la porosidad eficaz y no comprenden como se dispone el agua en los acuíferos detríticos.

Objetivos

Transmitir al alumnado los conceptos de porosidad y porosidad eficaz y su diferencia.

Metodología

Los materiales a emplear son materiales de relleno (arcillas, gravas, compost...), vasos de plástico de 1 litro, plastilina, pajita y agua. También se puede hacer con materiales artificiales para favorecer la comprensión (canicas, pelotas de golf, bloques de plástico, etc).

El experimento comienza haciendo un agujero en el lateral inferior de cada vaso. Se tapa con plastilina y se rellenan los vasos hasta una altura determinada con los materiales seleccionados. Se vierte un volumen conocido de agua en cada uno de los vasos. Este volumen debe ser el mismo en todos los vasos (Figura 3a y 3b). En primer lugar, se propone observar la variación de la altura del agua para comparar qué materiales son más porosos (aquellos en los que la altura de agua sea menor). En segundo lugar, se plantea medir la porosidad total y la porosidad eficaz de cada material. Para ello, se perfora la plastilina y se introduce una pajita para permitir la salida del agua (Figura 3c). Se mide el volumen del agua de salida. El resultado será el volumen de agua gravífica (que fluye y no queda retenida). Por el contrario, el agua que queda retenida entre los poros (la resta entre el volumen introducido y el de salida) será el agua capilar. Parte de esta agua será la usada por las plantas en sus procesos vegetativos.

En ambas actividades se plantea al alumnado razonar el comportamiento del agua en función de los distintos materiales, formas y tamaños que componen los vasos.

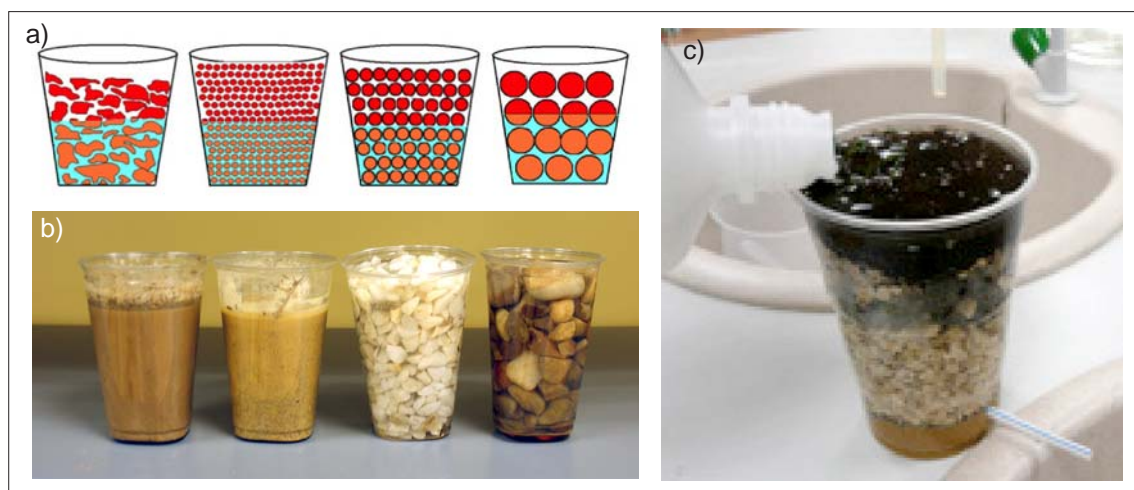


Fig.3. a) Representación esquemática del nivel del agua en los vasos con distintos materiales de relleno; b) Experimento práctico: nivel de agua; c) Experimento práctico: medida de la porosidad total y eficaz.

3.- Escorrentía superficial

Fundamento teórico

La escorrentía superficial se define como el agua que circula por la superficie del terreno. Procede de las precipitaciones, del deshielo de nieve y glaciares, o de las surgencias de aguas subterráneas. Es el agua que corre por nuestros ríos y arroyos, y aunque es la más fácil de observar, sólo supone el 0,0001% del total del agua del planeta.

Ideas previas erróneas

Si bien la escorrentía superficial es uno de los fenómenos mejor entendidos por los estudiantes, existen algunos conceptos, como el de la modelización del paisaje y el transporte de materiales, cuya comprensión puede mejorarse con la realización de una serie de actividades prácticas.

Objetivos

Se pretende que los alumnos: a) comprendan como afecta la intensidad de la lluvia o la pendiente del terreno a la escorrentía superficial; b) entiendan los efectos de la variación del caudal y de la velocidad de las corrientes de agua; c) determinen como afectan las variables anteriores al transporte de materiales.

Metodología

Para la construcción de un modelo de cauce que permita modificar su pendiente y sección se necesitan al menos 10 envases tetrabriks (este número se puede aumentar si se considera oportuno), bolsas de basura, plastilina y celofán o cinta americana. Para la construcción del modelo, se formaran tres grupos integrados por los alumnos de la clase. En cada uno de los tres modelos se realizará una de las prácticas que se describen a continuación, participando toda la clase en el desarrollo de las mismas.

Como se muestra en la Figura 4 se recortan y pegan los tetrabriks de forma que se cree una estructura compuesta por una pendiente y un canal. Una vez unida la estructura se recubre con bolsas de plástico para impermeabilizarla. Se colocarán distintos materiales, arenas, gravas y pequeñas piedras, en el cauce para observar los fenómenos de transporte. La plastilina se usa para producir variaciones de sección en el cauce.

Una vez construido el modelo se plantean las siguientes experiencias prácticas:

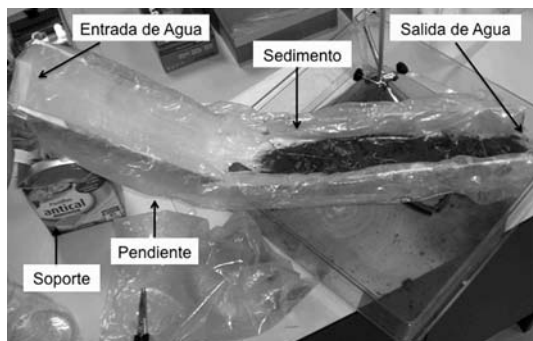


Fig. 4. Esquema del experimento y de los materiales empleados.

1. Modificación de la pendiente y observación de la variación de la velocidad del agua. Se fija un nivel de pendiente y se ancla el modelo a un soporte. Se añade agua por la parte superior y se mide el tiempo que tarda en recorrer una distancia fijada. Para facilitar la apreciación de este fenómeno, se puede colocar un objeto flotante que permita mejorar la observación. Variando la pendiente se establece una relación entre ésta y la velocidad del agua.

2. Modificación del régimen de precipitación y observación de la influencia en el caudal y la velocidad. Se vierte agua sobre el sistema a distintas velocidades y se observa la variación del caudal y la velocidad del mismo. Cambiando la sección del modelo se puede observar también la variación de velocidad del agua.

3. Observación de la influencia de la modificación de la pendiente y del régimen precipitaciones en el transporte de materiales. La colocación de pequeños obstáculos permitirá observar cómo se realiza el transporte de sedimentos.

4.- Flujo de agua subterránea

Fundamento teórico

Para comprender el funcionamiento del ciclo del agua del agua en el subsuelo, debemos dividir el sistema en dos partes bien diferenciadas: la zona saturada y la zona no saturada (Figura 5). La zona no saturada se define como la parte del suelo donde los poros no están completamente llenos de agua, sino que el agua queda retenida por fuerzas capilares (Custodio y Llamas, 2001).

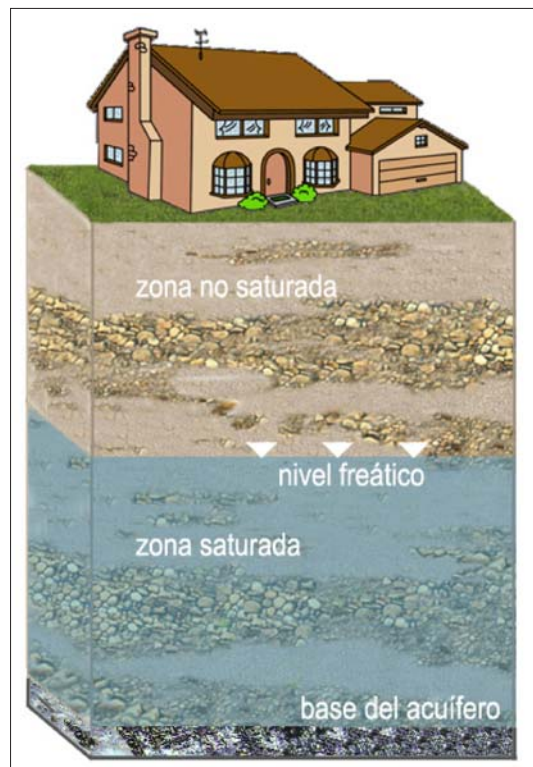


Fig. 5. Esquema de la zona saturada y no saturada.

Esta agua, conocida también como humedad del suelo, es la que puede ser aprovechada por las plantas en los procesos de evapotranspiración. Cuando los poros se saturan, el agua desciende por gravedad hasta zonas más profundas donde, al llegar a un material impermeable que actúa como barrera, comienza a acumularse. Esta zona, en la que los poros se encuentran completamente llenos de agua, se corresponde con la zona saturada y constituye el agua subterránea propiamente dicha. Pero el agua no se queda estancada, sino que fluye libremente gracias a las fuerzas de gravedad y las fuerzas de presión de los materiales sobre los que discurre. Su movimiento siempre se realizará en favor del gradiente piezométrico.

Ideas previas de los alumnos

Según Ben-zvi-Assaraf & Orion en su estudio sobre la percepción de los estudiantes sobre el ciclo hidrológico los principales conceptos erróneos relacionados con los fenómenos de infiltración y flujo de agua subterránea son:

- El agua subterránea se localiza en grandes lagos subterráneos, de lo que se desprende que el agua subterránea circula por ríos similares a los superficiales.
- El agua de lluvia penetra por las fisuras de las rocas, almacenándose en los acuíferos subterráneos
- La composición de las rocas no influye en la composición del agua que fluye a través de ella.

Objetivos

Con estas prácticas se persigue que los alumnos comprendan el movimiento del agua en el subsuelo y que diferencien la zona saturada de la no saturada. Esta actividad, junto con las actividad 3.2, ayudarán al alumnado a comprender el funcionamiento de las aguas subterráneas y su importancia para la vida en el planeta.

Metodología

Se necesita un recipiente transparente de 40 x 30 x 30 cm. o superior (una pecera, Tupper, etc.), goma de silicona transparente (2 m), materiales acuíferos (arenas, gravas, etc.) y filtro de café.

El material se coloca en distintas capas para simular los diferentes estratos del subsuelo. En un extremo se hace una hondonada, se recubre con el filtro de café y posteriormente con una capa de grava gruesa.

se hace una hondonada, se recubre con el filtro de café y posteriormente con una capa de grava gruesa. Pegado a uno de los lados, se harán tres perforaciones sobre los materiales (pozos) y se recubren con la goma transparente, según dibujo adjunto (Figura 6).

Una vez construido el modelo se plantean las siguientes experiencias prácticas:

1. Verter agua en la zona de recarga. Diferenciar la zona saturada y la no saturada. Observar los cambios en los niveles piezométricos (pozos) y en la zona de descarga.
2. Con una jeringuilla y una goma, extraer agua del pozo central e identificar los cambios que se producen. Se puede añadir un colorante en el agua de entrada para mejorar su observación.
3. Se puede medir el tiempo en que el agua tarda en llegar de un extremo a otro de nuestro modelo acuífero o el tiempo que tarda en aparecer en nuestros pozos. Esta medida nos dará una idea de que la velocidad con la que el agua se mueve por el subsuelo es mucho menor que la del agua superficial.

5.- Factor antropogénico

Fundamento teórico

Cada cuenca hidrográfica es una realidad hidrológica diferente en razón de factores naturales, sociales, medioambientales y culturales. El nivel de equipamiento hidráulico y tecnológico de cada país (embalses, defensas hidráulicas frente a las inundaciones, sistemas de distribución, de potabilización, depuración, desalinización, etc.) y la gestión política del conocimiento científico son factores importantes diferenciadores (Martínez-Gil J., 2007).

La depuración del agua juega un papel fundamental en el ciclo hidrológico. Las estaciones depuradoras de aguas residuales (EDARs) eliminan una elevada proporción de los contaminantes presentes, vertiendo efluentes depurados, que puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores (Salas J.J et al., 2007). La depuración puede llevarse a cabo mediante técnicas convencionales y no convencionales. En el caso que nos acontece se ejemplificará, como actividad práctica, el pretratamiento y parte del tratamiento primario de una

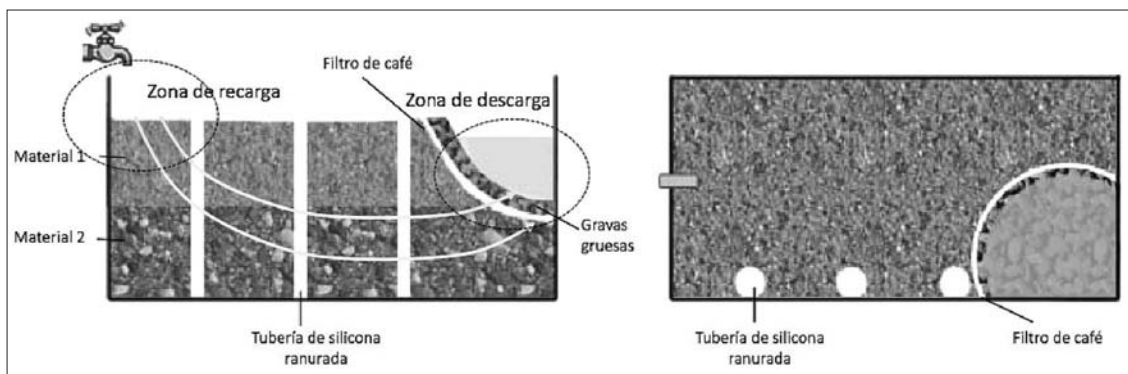


Fig. 6. Modelo experimental estratificado del subsuelo.

planta de depuración convencional. No obstante existen recursos interactivos en internet que pueden ayudar a la comprensión de este proceso. Un ejemplo de ello es la aplicación “E-masakrator 2.0” de la empresa granadina Emasagra.

Ideas previas

Aunque el factor antropogénico resalta a la vista de todos, no siempre está integrado en el ciclo del agua. Obviar la influencia del ser humano resta importancia a un agente de gran impacto y causa su desconocimiento entre el alumnado. La depuración del agua residual es un hecho cotidiano y noto por los alumnos como un proceso aislado, sin presumir la relación existente con el ciclo del agua.

Objetivo

Transmitir al alumno: a) el concepto de depuración del agua; b) la influencia del hombre en el ciclo del agua; b) La importancia del tratamiento del agua contaminada para reducir el impacto antropogénico.

Metodología

Se van a usar los siguientes materiales: 3 vasos de plástico con un diámetro próximo a 10 cm, 1 escurridor, 1 colador, 1 botella de plástico, agua, arroz, garbanzos, té, café, aceite, tijera, papel rotulador y celofán.

Se ejemplificará el pretratamiento y parte del tratamiento primario de una estación de depuración convencional (Figura 7). Se inicia la actividad rotulando los recipientes de plástico para diferenciar las partes del proceso experimental. Se sugiere utilizar los siguientes nombres: ARU (Agua Residual Urbana), separación de grandes sólidos, desbaste y desengrasado, y decantación primaria.

En el recipiente denominado ARU se mezcla el agua con los diversos “contaminantes” (aceite, café, garbanzos, arroz y té) simulando agua residual urbana que llega a una estación de depuración. Se comienza el *pretratamiento del agua* vertiendo el agua al contenedor de separación de grandes sólidos utilizando un escurridor que permita la separación

de las sustancias de mayor tamaño: garbanzos y arroz. De la misma forma se realiza un segundo trasvase de agua al recipiente llamado desbaste y desengrasado. Esta vez se usa un colador, cuyo tamaño de malla sea menor que el escurridor y que permita separar la mayor parte de los sólidos de tamaño mediano-pequeño (té y café). Para concluir el pretratamiento del agua se extrae la grasa con una cuchara simulando el proceso de desengrasado.

Tras ello, se simula la *decantación primaria* (tratamiento primario), cuyo objeto es la eliminación de la mayor parte de los sólidos sedimentables bajo la acción exclusiva de la gravedad. Se vierte el agua a una botella de plástico, se deja reposar sobre una superficie lisa 10 minutos. Transcurrido el tiempo, se abre la botella y se observa que en el fondo del tapón restan los depósitos sedimentados (café) simulando la línea de lodos.

CONCLUSIÓN

El uso de los libros de texto en las asignaturas de ciencias naturales es el recurso más extendido. Sin embargo, contienen algunos errores conceptuales respecto al ciclo del agua que podrían ser fácilmente solventados mediante el desarrollo de pequeñas experiencias prácticas en las aulas.

Aunque los experimentos aquí planteados y desarrollados carecen de una visión holística del ciclo del agua, su interés docente y didáctico es elevado por ofrecer la posibilidad del estudio individual de los procesos más importantes del ciclo. De esta manera los profesores pueden explicar más detalladamente cada uno de los procesos y centrarse en aquellos conceptos con mayor dificultad de comprensión para los alumnos.

AGRADECIMIENTOS

A Irene de Bustamante y a Javier Lillo por la revisión crítica de este artículo.

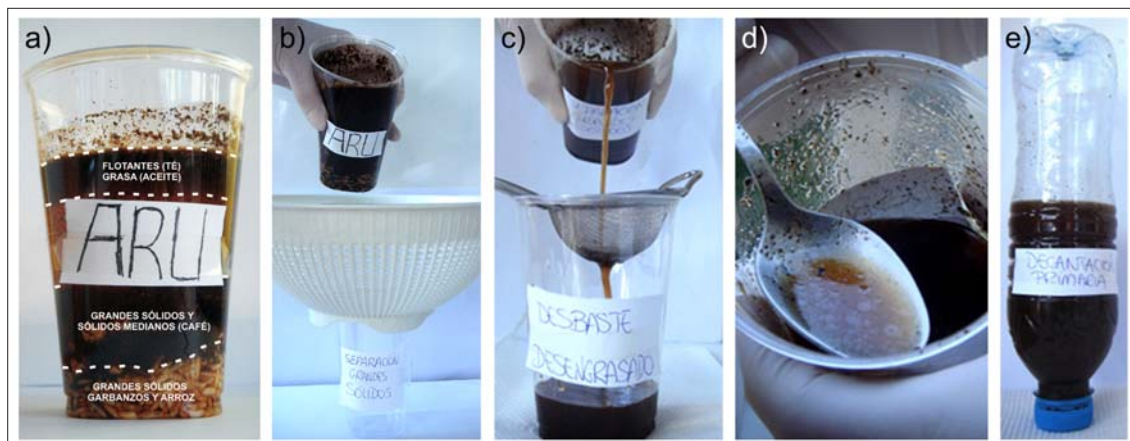


Fig. 7. Simulación del pretratamiento y decantación primaria de una EDAR. a): agua residual urbana. b): separación grandes sólidos. c): desbaste. d): desengrasado. e): decantación primaria. 6. Modelo experimental estratificado del subsuelo.

BIBLIOGRAFÍA

- Agelidou, E., Balafoutas, G., Gialamas, V. (2001). Interpreting how third grade junior high school students represent water. *International Journal of Education and Information*, 20, 19 - 36.
- Bach, J., Brusi, D. (1988). Reflexiones y recursos sobre la didáctica del ciclo del agua. *Henares, Rev. Geo.* 223-232.
- Bar, V., Travis, A.S. (1991). Children's views concerning phase changes. *Journal of Research in Science Teaching*, 28, 363 - 382.
- Bar, V., Galili, I. (1994). Stages of childrens views about evaporation. *International Journal of Science Education*, 16, 157 - 174.
- Ben-zvi-Assarf, O., Orion, N. (2005). A study of Junior High Student's Perceptions of the Water Cycle. *Journal of Geoscience Education*, 53 (4), 366 - 373.
- Boletín Oficial del Estado. (2006). Real Decreto 1513/2006, de 7 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas de la educación secundaria. *BOE 293 (8 de diciembre de 2006)*, 43053 - 43102.
- Cardak, O. (2009). Science Students's Misconceptions of the Water Cycle According to their Drawings. *Journal of Applied Sciences*.
- Chang, J. (1999). Teachers college students' conceptions about evaporation, condensation, and boiling. *Science Education*, 83(5), 511 - 526.
- Custodio, E., Llamas, M.R. (2001). *Hidrología subterránea*. Volumen I. 2ª ed. Ediciones Omega, Barcelona, 1157 p.
- Dickerson, D., Callahan, T.J., Van Sickle, M., Hay, G. (2005). Students's conceptions of scale regarding groundwater. *Journal of Geoscience Education*, 53(4), 374 - 380.
- Emasagra. Aplicación informática sobre tratamiento y depuración de aguas. www.emasagra.es/e-masakrator/index.asp
- Fernández-Ferrer, G., González-García, F., Carrillo-Rosúa, F.J. (2008). Los contenidos relacionados con las aguas subterráneas en los textos de estudio, más allá del modelado kárstico. En: *XXIII Encuentros de didáctica de las ciencias experimentales*, Almería.
- Gomez-Zwiep, S. (2008). Elementary Teachers "Understanding of Students" Science Misconceptions: implications for practice and teacher education. *Journal of Science Teacher Education*, 19, 437 - 454.
- Jiménez, J.D., Hoces Prieto, R., Perales, F.J. (1997). Análisis de los modelos y grafismos utilizados en los libros de texto. *Alambique*, 11, 75 - 85.
- Marcén, C. (2006). *Las ideas de los escolares sobre el agua. Variaciones tras una experimentación*. <http://www.ecodes.org/pages/articulos/documentos/RESUMENINVESTIGACION.pdf>., (accedido en 26 de junio de 2009).
- Márquez, C., 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.
- Martínez-Gil, J. 2007. Los problemas del agua en España: análisis de una realidad. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (15.3).
- Perales, F.J., Jiménez, J. 2002. Las ilustraciones en la enseñanza-aprendizaje de las ciencias. Análisis de libros de texto. *Enseñanza de las Ciencias*, 24 (1), 13 - 30.
- Pozo, J.I., Gómez, M.A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia*. Ediciones Morata, Madrid, 33 p.
- Pulido-Bosch, A. (2007). *Nociones de hidrogeología para ambientólogos*. Editorial Universidad de Almería, Almería, 491 p.
- Rebollo L. y Martín-Loeches, M. (2007). Diez Preguntas Elementales Sobre Aguas Subterráneas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, (15.3), 240-249.
- Reyero, C., Calvo, M., Vidal, Mª P., García, E., Morcillo, JG. (2007). Las ilustraciones del ciclo del agua en los textos de educación primaria. *Enseñanzas de las Ciencias de la Tierra*, (15.3).
- Salas J.J., Pidre J.R., Cuenca, I. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. CENTA, Sevilla.
- Silva, F.K.M., Compiani, M. (2006). Las imágenes geológicas y geocientíficas en los libros didácticos de ciencias. *Enseñanza de las ciencias*, 24(2), 207 - 218.
- Toledo, A. (2006). *Agua, hombre y paisaje*. 1ª ed. Instituto Nacional de Ecología, Méjico. ■

Fecha de recepción del original: 11/05/09

Fecha de aceptación definitiva: 12/10/09