

INVESTIGACIÓN EDUCATIVA

UNA PROPUESTA DE ANÁLISIS DE LAS REPRESENTACIONES DE LOS ALUMNOS SOBRE EL CICLO DEL AGUA

A study for analysing the students' representations on the water cycle

Conxita Márquez (*) y Joan Bach (**)

RESUMEN

Treinta alumnos del primer ciclo de la ESO (Enseñanza Secundaria Obligatoria) trabajaron el ciclo del agua. En tres momentos (al inicio de la secuencia de enseñanza-aprendizaje, durante la intervención educativa y un año después) dibujaron diagramas del ciclo del agua. Los diagramas son analizados con la finalidad de caracterizar los modelos expresados por los alumnos en relación con la circulación del agua en la naturaleza. Para ello se observan los componentes estáticos (almacenes de agua) y dinámicos (cambios de lugar y de estado del agua) que aparecen en sus diagramas. En el artículo se presentan las tipologías y características de los modelos expresados por los alumnos. El análisis de los diagramas en tres momentos diferentes permite seguir su evolución y destacar algunos aspectos que pueden ayudar a una mejor representación y comprensión de la circulación del agua en la naturaleza.

ABSTRACT

Thirty students of the first cycle of ESO (12 to 14 years at the Obligatory Secondary Education) worked the water cycle. In three moments (at the beginning of the learning sequence, during the educational intervention and a year afterwards) they drew diagrams of the water cycle. The diagrams are analyzed with the aim of characterizing the models expressed by the students in relation to the water cycle. For that the static components (water store) and the dynamic components (changes of place and state of the water) that appear in the diagrams are observed. In the article there are presented the typology and characteristics of the models expressed by the students. The analysis of the diagrams in three different moments allows following the evolution and highlighting some aspects that can help a better representation and understanding of the circulation of the water in the nature.

Palabras clave: Ciclo del agua, aguas subterráneas, modelos mentales, diagrama.

Keywords: water cycle, grounded water, mental models, diagram.

INTRODUCCIÓN

Cualquier persona cuando aprende está reconstruyendo su modelo mental. Los modelos mentales son de naturaleza privada y en consecuencia inaccesibles (Gilbert y Boulter, 1998). Si se quieren conocer se 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,...). Partiendo de esta premisa se pueden hacer aproximaciones sobre como un alumno se apropia de un contenido científico a través de lo que escribe, de lo que dibuja, de cómo resuelve un problema, de cómo sabe plantearse preguntas relevantes. En esta investigación, esta aproximación se hará a partir de los diagramas que los alumnos hacen del ciclo del agua. Estos son considerados como la representación, a través del

modo visual y verbal, del modelo mental. Es decir, los diagramas son “los artefactos” a través de los cuales los alumnos expresan su conocimiento o modelo mental sobre la circulación del agua en la naturaleza.

Para analizar y categorizar los diagramas adaptaremos una visión sistémica del fenómeno representado, es decir, se identificarán en los diagramas realizados por los alumnos las referencias a la *estructura*, que corresponde a componentes espaciales y a las relaciones espaciales entre estos; al *comportamiento*, que se refiere a los procesos o componentes dinámicos y a los cambios en el tiempo, y, al *mecanismo* o *funcionamiento* que compete a las interacciones del comportamiento de los diferentes componentes, que originan el comportamiento general del sistema (Buckley y Boulter, 2000).

(*) Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals. Universitat Autònoma de Barcelona. Bellaterra, 08193 Barcelona. conxita.márquez@uab.cat

(**) Unitat de Geodinàmica Externa i d'Hidrogeologia. UAB. GREDGEO: Grup de recerca per l'ensenyament i la divulgació de la Geologia. UAB. joan.bach@uab.cat

Dentro del ciclo del agua, la componente subterránea es la que presenta una mayor dificultad de comprensión. Una revisión de la evolución histórica del concepto de ciclo del agua refleja que hasta el siglo XVII, a partir de la experimentación no se logra el cambio de mentalidad que supone completar el ciclo del agua únicamente a partir de la infiltración del agua procedente de las precipitaciones. Esta falta de comprensión histórica de la parte subterránea del ciclo refleja la dificultad de interpretar esta fase no observable directamente, lo que se traduce en la aparición de errores conceptuales arraigados en la sociedad, que los alumnos comparten (Bach y Brusi, 1988).

LAS REPRESENTACIONES DE LOS ALUMNOS SOBRE EL CICLO DEL AGUA

El objetivo de este estudio es identificar, caracterizar y comparar los diferentes tipos de modelos expresados por un grupo de alumnos de secundaria (de primer ciclo de ESO, 12-14 años) en relación al ciclo del agua, analizando los componentes espaciales y dinámicos que los alumnos representan en sus diagramas. Los componentes causales, es decir el mecanismo o funcionamiento, también ha sido analizado pero las limitaciones de espacio impiden presentar el análisis y los resultados en este artículo.

Muestra y obtención de datos

Cada alumno ha realizado tres diagramas: el diagrama inicial (DI) al comenzar la intervención educativa, el diagrama realizado durante la actividad de enseñanza-aprendizaje (DA) y el diagrama final (DF) realizado un año después de la intervención en el aula. Las consignas para realizar el DI y el DF fueron las mismas: "Dibuja el ciclo del agua. Añade todas las explicaciones que creas necesarias para que sea comprensible". Mientras que en el caso del DA cada alumno completó un bloque diagrama en el cual tenía que ir localizando los almacenes y los procesos relacionados con la circulación del agua en la naturaleza que se propusieron en la clase.

La muestra básica es de 30 alumnos (n = 30), hay sin embargo algunas variaciones en el número de diagramas que se analizan debido a faltas de asistencia y a un cambio de instituto.

PRESENTACIÓN DE LA EXPERIENCIA

Teniendo en cuenta la visión sistémica, anteriormente expuesta, se planteó trabajar el ciclo del agua siguiendo la siguiente estructura:

Se partió de la observación del entorno natural, éste constituye un sistema físico donde se dan un conjunto de fenómenos relacionados con el agua que plantean una serie de preguntas del tipo: ¿por qué sale agua de una fuente natural? ¿por qué los campesinos dicen que cada vez los ríos llevan menos agua? ¿por qué los ríos llevan agua a pesar que hace días que no llueve?...

Para comenzar a buscar la explicación y a construir el modelo se identificaron los diferentes componentes de este sistema:

- **los componentes espaciales del sistema**, es decir, las localizaciones o los almacenes de agua en la naturaleza (atmósfera, océanos, glaciares...) y los diferentes estados físicos en que la encontramos.

- **los componentes dinámicos del sistema**, es decir, los flujos o los procesos que se establecen cuando el agua cambia de estado o de lugar (circulación superficial, subterránea, evaporación ...)

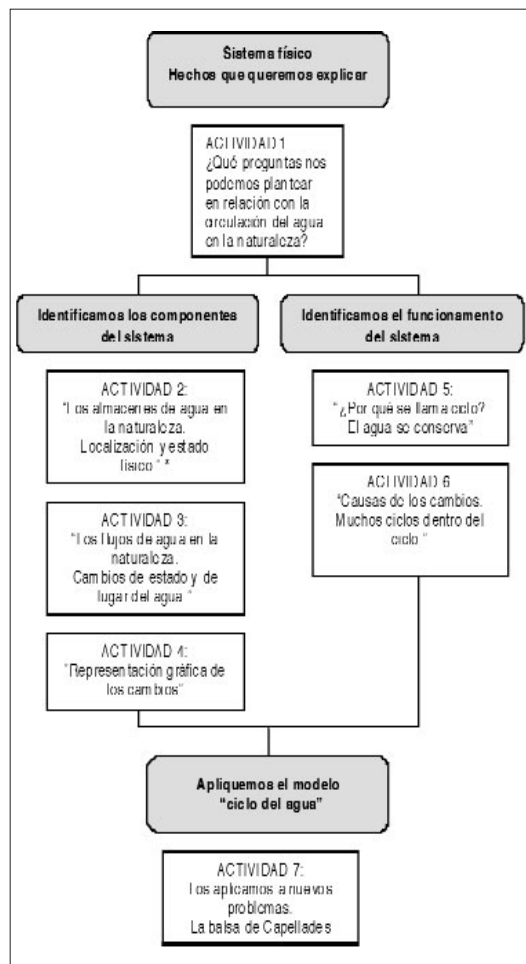
Identificados los almacenes y flujos se pasó a estudiar:

- **el funcionamiento del sistema**, es decir, cuáles son las causas de los diferentes cambios y cuáles son las peculiaridades del modelo cíclico del agua.

Para acabar se propuso:

- **la aplicación del modelo**, es decir, utilizar el modelo para representar algunas situaciones reales similares a las planteadas inicialmente.

En la figura 1 se puede ver la distribución de las actividades propuestas.



* En esta actividad se realizó el diagrama de aula (DA)

Fig. 1. Relación de las actividades que se diseñaron para trabajar con el alumnado el ciclo del agua.

Análisis de los datos

Para analizar los tres diagramas se ha construido una red sistémica (Bliss y Ogborn, 1979 y Bliss et al., 1983) donde se recogen las características espaciales y las dinámicas que expresan los alumnos cuando hacen sus diagramas sobre el ciclo del agua. (Fig. 2)

Las *características espaciales* se analizan a partir de la observación de los componentes estáticos o almacenes naturales de agua que representan los alumnos en sus diagramas. De una manera simplificada, se puede considerar que en la naturaleza hay tres grandes almacenes de agua: la *atmósfera*, donde se puede encontrar el agua en los tres estados físicos, la *zona continental* donde el agua puede estar almacenada en la superficie, en los polos, glaciares, lagos, o subterráneamente en los acuíferos y finalmente en el almacén de agua por excelencia, los *mares y los océanos*.

Según este criterio los ríos que aparecen en los dibujos de los alumnos no son considerados almacenes de agua, sino flujos de agua, es decir, un componente dinámico que comunica el almacén zona continental con el almacén mar u océanos. Asimismo las fuentes o surgencias se consideran un flujo de salida de las aguas subterráneas hacia las superficiales.

Las *características dinámicas* se analizan a partir de la observación de los flujos que se producen entre los distintos almacenes de agua o dentro de un mismo almacén y que pueden comportar o no cambio de estado del agua.

RESULTADOS

El análisis de los diagramas ha permitido definir seis tipos de modelos sobre el ciclo del agua en relación con los componentes espaciales y dinámicos. Aunque los modelos son descritos como categorías (Tipo 1, 2, 3, 4, 5, 6) estas deberían considerarse como un continuo que va del tipo 1, una representación simple y parcial del ciclo del agua, hasta el tipo 6, una representación, mucho más completa y global.

El **tipo 1 o modelo no cíclico** recoge las representaciones donde no se encuentra un cierre entre las entradas y las salidas de agua, o sea, donde la circulación de agua queda interrumpida en algún momento.

El **tipo 2 o modelo atmosférico** recoge las representaciones en las que se cierra el recorrido del agua en la naturaleza pero donde sólo se consideran dos almacenes: la atmósfera y el océano, y sólo dos flujos o cambios de almacén: la evaporación y la precipitación. Estos diagramas hacen referencia sólo a la circulación atmosférica del agua. El agua inicia su recorrido en el mar, donde se evapora, se forman las nubes y vuelve a llover encima del mar.

El tipo 3 o **modelo de circulación superficial** añade al modelo anterior la circulación superficial o retorno del agua continental al océano, es decir, tiene en cuenta 3 almacenes (atmósfera, zona continental terrestre y océanos) y algunos flujos entre éstos. El agua del mar se evapora, se forman las nubes, llueve sobre las montañas, se forman ríos y éstos van hacia el mar. Existen diagramas que muestran de forma específica el origen de los ríos a partir de la fusión de la nieve en los glaciares.

Componentes espaciales Almacenes de agua en la naturaleza	atmósfera	vapor de agua		1
		nube (agua líquida y sólida)		2
	zona continental	aguas superficiales	glaciares/nieve	3
			lagos	4
			embalses	5
		aguas subterráneas	acuífero	6
	océanos	mar		7
Componentes dinámicos Flujos de agua en la naturaleza	conllevar cambio de almacén	evaporación (y cambio de estado)		8
		transpiración (y cambio de estado)		9
		precipitación		10
		circulación superficial (ríos)		11
		circulación subterránea		12
	conllevar cambio de almacén	dentro de la atmósfera	condensación	13
			circulación atmosférica	14
		dentro de la zona continental	fusión	15
			infiltración	16
			escorrentía	17
	surgencia (fuentes)	18		

Figura 2. Red sistémica para analizar los tres diagramas sobre el ciclo del agua en relación con los componentes espaciales y dinámicos.

El **tipo 4 o modelo de circulación subterránea** expone otra ubicación del agua así como un nuevo flujo, el agua subterránea y su circulación, pero no muestra el proceso de infiltración. El agua del mar, de los ríos y de los lagos se evapora, se forman las nubes, llueve, hay circulación superficial (los ríos circulan hacia el mar) y una parte del agua circula subterráneamente hasta llegar también al mar.

El **tipo 5 o modelo del agua subterránea como reserva independiente** recoge esos diagramas en los que se representa el agua subterránea como una bolsa o un lago de agua debajo de la tierra, sin mostrar ninguna relación con el resto de agua que circula por la naturaleza. En el dibujo pueden aparecer signos que representan el proceso de infiltración, explicando como ha llegado el agua a ésta lo-

calización, pero no muestra como se reincorpora ésta agua al ciclo hidrológico. En un caso (alumno 20) el texto escrito que acompaña el diagrama dice: "El agua de los ríos y los mares se puede infiltrar y formar "lagos" de agua subterránea". Vemos que, a pesar de hablar de infiltración como mecanismo que permite obtener agua subterránea, ésta queda desconectada del circuito natural.

El **tipo 6 o modelo integrador** recoge las representaciones que además de mostrar el acuífero y la circulación subterránea, muestran el proceso de infiltración por el cual el agua superficial pasa a ser subterránea y el proceso inverso que es el de surgencia.

En la figura 3 se muestra un ejemplo de cada tipo de modelo.

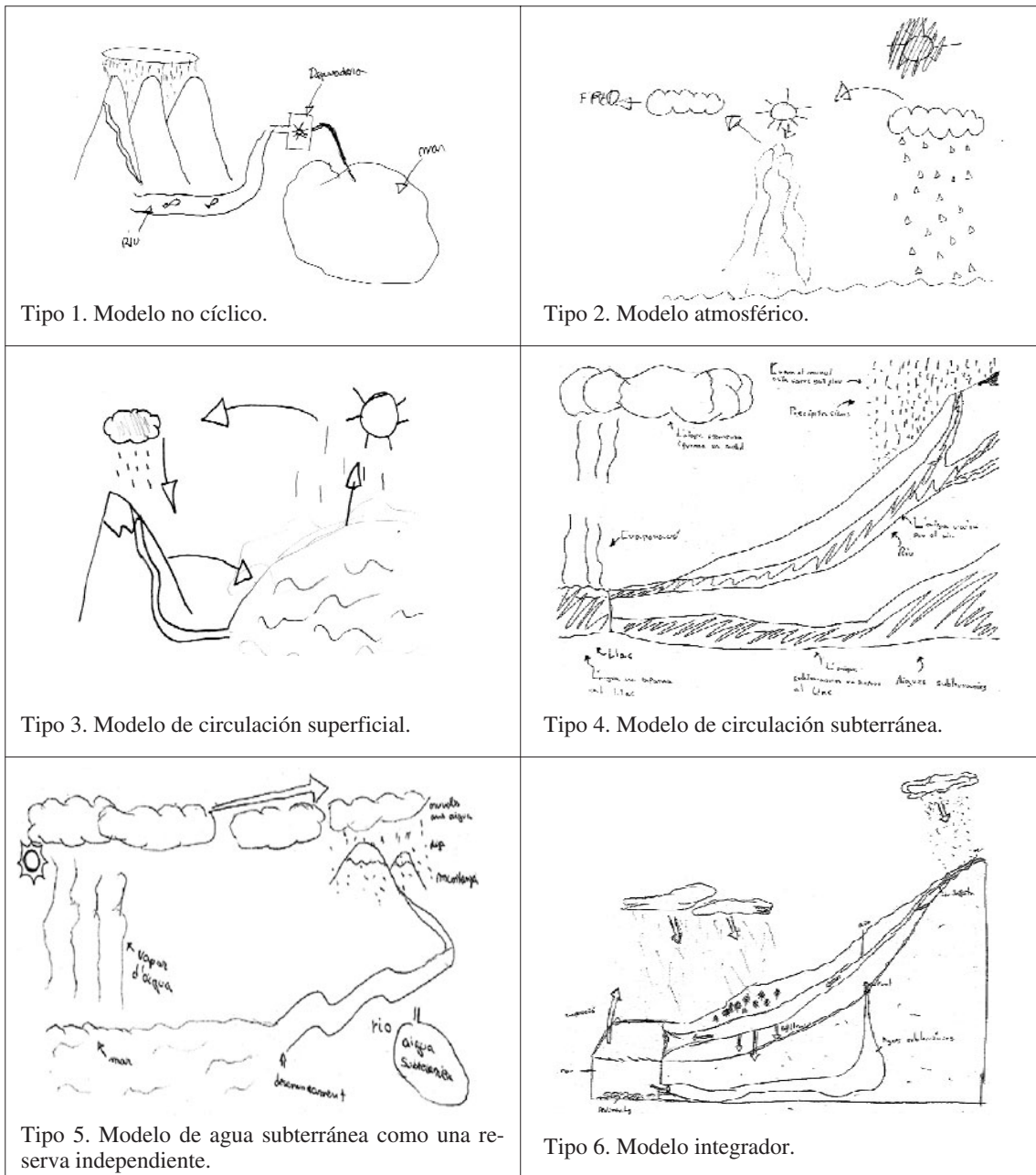


Fig. 3. Diagramas tipo de cada tipología de ciclo del agua en relación con los procesos espaciales y dinámicos.

EVOLUCIÓN DE LAS REPRESENTACIONES

La aplicación de la red sistémica a los tres diagramas permite mostrar las variaciones y la evolución de los mismos a lo largo del tiempo. La tabla 1 resume los modelos definidos en el diagrama inicial (DI), en el diagrama realizado en el aula (DA) y en el diagrama final (DF) y la frecuencia en la que aparecen en la muestra analizada.

Tal y como muestra la tabla 1, el modelo más frecuente, en el DI, es el de circulación superficial (40%). Hay un número destacado de alumnos que expresan un modelo no cíclico (26,7%) y otros que no se ajustan a la demanda de dibujar el ciclo del agua y que corresponden a la categoría de modelos no significativos (20%). En el diagrama inicial sólo hay una alumna que expresa un modelo de circulación subterránea. Sorprende que no sean más alumnos los que hagan una representación cíclica, ya que los alumnos de la muestra (primero de ESO) previsiblemente ya han estudiado el ciclo del agua con anterioridad y es muy probable que hayan visto diagramas del ciclo del agua en libros de texto o de divulgación.

En los diagramas hechos durante el proceso de enseñanza-aprendizaje (DA), en unas condiciones claramente conducidas por las intervenciones de la profesora, no aparece ninguna representación que corresponda a un modelo no cíclico, ni sólo atmosférico ni de circulación subterránea. Hay un porcentaje elevado de alumnos (44%) que incorporan en sus representaciones el agua subterránea, pero la presentan como una reserva independiente, es decir la dibujan, pero no muestran los mecanismos por los cuales ha llegado al subsuelo, o como puede salir de él. Un 36% del alumnado, el que corresponde al modelo integrador, hace un diagrama que muestra los almacenes de agua y los cambios comenta-

dos en clase en relación con la circulación del agua en la naturaleza.

En los diagramas finales (DF) un 17,3% del alumnado vuelve a hacer un diagrama no cíclico, y ahora sí que se puede asegurar que han trabajado el ciclo del agua y que han visto diagramas en los libros de texto. En este caso, desaparece la tipología de diagramas no significativos, los alumnos saben lo que queremos que hagan cuando les pedimos que representen el ciclo del agua, y el modelo más abundante es el de la circulación subterránea (31%), seguido del modelo integrador (17,3%).

Evolución en la representación de los componentes espaciales

La comparación en los almacenes representados en los tres diagramas (Tabla 2) permite observar que los dos cambios más importantes que se dan entre el DI y el DF es el aumento de la representación del agua en estado sólido en los glaciares y en las cimas de las montañas (se pasa de 6,7% a 51,7%) y del agua subterránea (se pasa de 3,3% a 72,4%). El aumento de la representación del agua subterránea es importante en la medida en que es un primer paso necesario para representar los procesos de circulación subterránea, infiltración y surgencia. Es necesario tener localizada e identificada el agua subterránea para hacerla circular, hacerla manar y para plantearse el mecanismo por el cual ha llegado o se mantiene en este emplazamiento subterráneo.

Evolución en la representación de los componentes dinámicos

En relación con la representación de los procesos, la tabla 3 muestra que si comparamos el DI con el DF esta aumenta en todos los casos, excepto en la fusión, que baja ligeramente.

	Diagrama inicial (n=30)	%	Diagrama de aula (n=25)	%	Diagrama final (n=29)	%
Tipo 0: No significativo	6	20	2	8	0	0
Tipo 1: Modelo no cíclico	8	26,7	0	0	5	17,3
Tipo 2: Modelo atmosférico	3	10	0	0	4	13,8
Tipo 3: Modelo de circulación superficial	12	40	3	12	3	10,3
Tipo 4: Modelo de circulación subterránea	1	3,3	0	0	9	31
Tipo 5: Modelo de agua subterránea como una reserva independiente	0	0	11	44	3	10,3
Tipo 6: Modelo integrador	0	0	9	36	5	17,3
Total	29	100	25	100	29	100

Tabla 1. Tabla comparativa de la distribución de las diferentes tipologías en relación con los aspectos espaciales y dinámicos en los tres diagramas. El tipo 0 corresponde a aquellos alumnos que no han hecho dibujo o han hecho un dibujo que no se corresponde con la demanda.

Almacén	Diagrama inicial (n=30)		Diagrama de aula (n=25)		Diagrama final (n=29)	
	Frecuencia absoluta	%	Frecuencia absoluta	%	Frecuencia absoluta	%
Atmósfera (vapor)	11	36,7	17	68	16	55,2
Atmósfera (nubes)	23	76,7	25	100	29	100
Zona continental (glaciares)	2	6,7	22	88	15	51,7
Zona continental (lagos)	3	10	23	92	5	17,2
Zona continental (acuífero)	1	3,3	24	96	21	72,4
Mar	21	70	25	100	21	72,4

Tabla 2. Tabla comparativa de los componentes espaciales o almacenes de agua representados en el diagrama inicial, en el diagrama de aula y en el diagrama final.

Componentes dinámicos	Diagrama inicial (n=30)		Diagrama de aula (n=25)		Diagrama final (n=29)	
	Frecuencia absoluta	%	Frecuencia absoluta	%	Frecuencia absoluta	%
Evaporación	16	53,3	22	88	24	82,7
Transpiración	0	0	16	64	0	0
Precipitación	23	76,6	22	88	27	93,1
Circulación superficial	17	56,6	20	80	21	72,4
Circulación subterránea	1	3,3	10	40	14	48,3
Condensación	0	0	7	28	4	13,8
Circulación atmosférica	5	16,6	1	4	16	55,2
Fusión	4	13,3	20	80	3	10,3
Infiltración	0	0	22	88	7	24,1
Surgencia	0	0	21	84	3	10,3

Tabla 3. Tabla comparativa de los componentes dinámicos o procesos representados en el diagrama inicial, en el diagrama de aula y en el diagrama final.

En el diagrama inicial hay cuatro procesos, la transpiración, la condensación, la infiltración y la surgencia, que no son representados por ningún alumno. En el diagrama final estos procesos son representados por algunos alumnos, excepto la transpiración.

El proceso de la transpiración es presentado en las sesiones de clase como uno de los flujos que se establecen en el ciclo del agua en el cual intervienen los seres vivos (concretamente la vegetación) y es representado por un 64% de los alumnos en el diagrama del aula; en cambio, no es representado por ningún alumno en el diagrama final. Lo que sí se observa es que hay un 24,1% de alumnos que en su dibujo final representan árboles. Esta observa-

ción puede ser significativa, ya que en el diagrama inicial no hay ninguno de los treinta alumnos que los dibuje. Nuestra hipótesis es que la representación de los árboles es un primer paso para llegar a representar la transpiración.

En el diagrama inicial, como ya se ha comentado, ningún alumno representa la condensación. En el diagrama del aula (DA) sólo un 28% de los alumnos, y en el final, el 13,8%. Esta constatación coincide con los resultados de investigaciones hechas sobre la percepción de los alumnos del ciclo del agua (Piaget, 1930; Bar, 1989), donde se muestra la gran dificultad que tienen los alumnos para representarse correctamente el mecanismo de formación de nubes.

La representación del proceso de la infiltración pasa del 0% en el diagrama inicial al 24,1% en el final. Este aumento, lo interpretamos relacionado con el aumento de la representación de la circulación subterránea, que pasa de un 3,3% a un 48,3%.

DISCUSIÓN

En este trabajo se han analizado los diagramas realizados por un grupo de alumnos en relación con el ciclo del agua, con la finalidad de conocer la evolución de sus modelos mentales expresados a través de un diagrama.

De manera general, los alumnos, después de un año de haber estudiado el tema, tienden a hacer una representación del ciclo del agua donde aparecen más almacenes y procesos. La mayoría ha incorporado en sus diagramas el agua subterránea y los glaciares y más flujos de los que habían considerado previamente. Se ha identificado una relación entre unas mejores representaciones del ciclo del agua y la capacidad de representar más almacenes de agua. Las representaciones de los alumnos que no identifican determinados componentes, como el agua subterránea, no pueden evolucionar. Ya que si no se sabe que hay agua bajo tierra, no será necesario plantearse como ha entrado, como puede salir o cuanto tiempo puede permanecer en este almacén. De aquí la importancia de localizar el máximo de almacenes de agua en la naturaleza, ya que éste puede ser un primer paso para una mejor representación y comprensión de la circulación del agua en la naturaleza. Para favorecer la localización de almacenes y procesos es interesante que sea el propio alumno el que vaya construyendo su diagrama ya que de esta manera se sitúa en una actitud activa, donde se le plantean situaciones en las que debe decidir cómo y dónde representar sus ideas. Asimismo, es una buena ocasión para reflexionar en relación con el uso de símbolos, especialmente las flechas que se usan o pueden usarse en un diagrama para favorecer su aspecto comunicativo e interpretativo de los fenómenos naturales.

Respecto a las aguas subterráneas cabe destacar, por un lado, que en el diagrama inicial, antes de trabajar en clase el ciclo del agua, sólo un alumno (3,3%) representó la circulación subterránea. Por otro lado, que en el diagrama final, al cabo de un año del trabajo realizado en clase, sólo la mitad de

los encuestados (48,3%) representan la circulación subterránea. Este bajo índice de visualización de la componente subterránea del ciclo corrobora la dificultad de comprensión intrínseca de la dinámica de las aguas subterráneas y pone en evidencia que para mejorar hay que utilizar recursos que permitan su visualización, tanto a partir de modelos a escala (tipo maqueta), como mediante balances a nivel de cuenca hidrográfica (Bach, 2001), así como, la cuantificación de los distintos elementos que confluyen en el ciclo del agua a modo de situaciones problema.

BIBLIOGRAFÍA

- Bach, J.; Brusi, D. (1988). Reflexiones y recursos sobre la didáctica del ciclo del agua. *Henares, Rev. Geol.*, p: 223-232.
- Bach, J. (2001). Los recursos hídricos y el sistema cuenca. *Alambique*, 27, 69-80.
- Bar, V. (1989). Children's views about the Water Cycle. *Science Education*, 73 (4), 481- 500.
- Bliss, J. y Ogborn, J. (1979). The analysis of qualitative data. *European Journal of Science Education*. Vol 1 (4), 427-440.
- Bliss, J. et al. (1983). *Qualitative Data Analysis for Educational Research. A guide to uses of systemic networks*. Londres: Croom Helm.
- Buckley, B.C. y Boulter, C.J. (2000). Investigating the role of representations and expressed models in building mental models, a Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (eds.). *Developing Models in Science Education* 119-135. Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (1998). Learning science through models and modelling, a Tobin, K. I Fraser, B. (eds.). *International Handbook of Science Education*, 53-66, Dordrecht: Kluwer.
- Márquez, C. (2005). Treballar el cicle de l'aigua des de la perspectiva dels models explicatius. *Perspectiva Escolar*. 292, 26-34
- Márquez, C; Izquierdo, M; Espinet, M. (2003). La comunicación multimodal en la clase de ciencias: el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias*. 21 (3), 371- 386.
- Piaget, J.(1929). *La Representation du Monde Chez l'Enfant*. París: Press Universitaire de France.■

Este artículo fue solicitado desde E.C.T. el día 18 de octubre de 2007 y aceptado definitivamente para su publicación el 6 de junio de 2008.