

Propuesta de análisis de representaciones sobre el modelo cambio geológico del alumnado del grado de educación primaria

A proposal for analysis of representations of the geological change model, addressed at students in primary education degree course

CONXITA MÁRQUEZ Y MIREIA ARTÉS

Departament de Didàctica de la Matemàtica i de les Ciències Experimentals, Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra, 08193 Barcelona. E-mails: conxita.marquez@uab.cat; artes.mireia@gmail.com.

Resumen Setenta y ocho estudiantes del grado de educación primaria representaron gráficamente el origen y los cambios de un canto rodado y de un paisaje en cuatro momentos de una propuesta de enseñanza aprendizaje centrada en la construcción del modelo sistémico de cambio geológico. Estas representaciones han sido analizadas y muestran que el nivel de abstracción y complejidad de las mismas aumenta ya que los alumnos incorporan la identificación de los agentes causales y los procesos implicados y una perspectiva cíclica de los cambios. Además, el análisis realizado ha permitido elaborar una rúbrica para evaluar el nivel de adquisición de los aprendizajes del modelo cambio geológico. A modo de ejemplo, mostramos la aplicación de la rúbrica a las representaciones de una futura maestra.

Palabras clave: Canto rodado, modelo cambio geológico, formación de futuros maestros, representaciones del alumnado, propuesta de enseñanza-aprendizaje.

Abstract *Seventy-eight students of primary education degree made a graphical representation of the origin and changes of a pebble and a landscape at four moments in a teaching and learning proposal focused on the construction of a geological model of systemic change. These representations have been analysed and show that their level of abstraction and complexity increases as students incorporate the identification of the causative agents and the processes involved, as well as a cyclical perspective of the changes. In addition, the analysis was used to develop a rubric to assess the level of knowledge acquisition of the geological change model. As an example, we show the application of the rubric to the representations of a future teacher.*

Keywords: *Pebble, geological change model, teacher training, representations of students, teaching and learning proposal.*

INTRODUCCIÓN

Reconocer que la tierra, los paisajes y las rocas cambian no es fácil. Distintas investigaciones reconocen que hay dificultades conceptuales para un adecuada comprensión de los cambios geológicos y específicamente sobre cómo se forman y cambian las rocas (Kortz y Murray, 2009; Kusnick, 2002). Algunas de estas barreras conceptuales son la lentitud de los procesos implicados, la relación entre los procesos a gran escala y los mecanismos y condiciones de formación a nivel atómico y la perspectiva estática.

Es precisamente la perspectiva estática vinculada a la dificultad de conceptualizar el tiempo geológico

la que ha condicionado en el pasado y también en nuestros alumnos la interpretación del origen de las rocas, de las montañas y la comprensión de la edad de la Tierra (Pedrinaci, 2009). Por todo ello aprender a mirar e interpretar los fenómenos geológicos desde la perspectiva del cambio geológico y reconocer que los materiales terrestres se originan y cambian constantemente es un reto para la alfabetización científica en ciencias de la Tierra (Martínez-Frías, 2009; Pedrinaci, et al., 2013).

En trabajos anteriores hemos utilizado la perspectiva sistémica para el análisis y comprensión de las representaciones de los alumnos sobre la circulación del agua en la naturaleza (Márquez y Bach, 2007) y para ayudar a los alumnos a interpretar fe-

nómenos geológicos, como por ejemplo, la formación de los cantos rodados (Guiu y Márquez, 2009). La perspectiva sistémica surge de la necesidad de identificar una manera de mirar que ayude a los alumnos a describir e interpretar la gran variedad de fenómenos geológicos que acaban configurando el funcionamiento de la Tierra.

El objetivo de este estudio es analizar los diferentes tipos de representaciones del alumnado de magisterio en relación a dos fenómenos geológicos desde la perspectiva de cambio geológico: el origen y los cambios que experimentan un canto rodado y un paisaje.

A continuación se presentan tres aspectos que consideramos relevantes para fundamentar el análisis de las representaciones de los alumnos: El modelo de cambio geológico, las representaciones o modelos mentales, la propuesta de enseñanza-aprendizaje.

MODELO CAMBIO GEOLÓGICO

En este artículo se concreta una propuesta para estudiar e interpretar los fenómenos geológicos desde la perspectiva sistémica del cambio geológico. Es decir, ante cualquier fenómeno geológico cabe considerar a) los componentes espaciales que configuren el sistema; b) los componentes dinámicos, los procesos e interacciones y c) los componentes causales en un marco de control y regulación de estos procesos. Identificar los componentes espaciales requiere reconocer y describir cuáles son las partes que conforman el objeto de estudio, cómo son, cómo se comportan, cómo han cambiado y cuál es su historia. Estudiar los componentes dinámicos promueve observar si los cambios son de origen externo o interno, profundizando en lo que cambia en cantidad y calidad; cuáles son los agentes del cambio y su velocidad. Finalmente, el marco de control-regulación propone entender los cambios en función de variables como la presión, la temperatura y la gravedad (entre muchas otras). Asimismo, permite considerar que los cambios ocasionan impactos en el medio, profundizar en los riesgos, en su prevención y en el uso sostenible de los recursos naturales.

Esta manera de aproximarse a la interpretación de los fenómenos geológicos favorece construir un modelo de cambio geológico que sea útil para comprender distintos fenómenos del entorno (desde la formación y cambios de una roca a la de un relieve) y, a su vez, puede conllevar la adquisición de criterios para actuar de manera fundamentada. Consideramos por ello que tiene una potencialidad explicativa (OCDE, 2006) ya que promueve una manera de mirar los fenómenos geológicos generalizable a escalas muy variables. A continuación, mostramos nuestra propuesta de modelo de cambio geológico. (Tabla I). En la tabla también se presentan algunas preguntas que pueden ayudar a focalizar en los aspectos expuestos.

LAS REPRESENTACIONES O MODELOS MENTALES

Cualquier persona cuando aprende está reconstruyendo su modelo mental, es decir su manera de pensar sobre la situación que se le plantea. 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 cómo 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. Asimismo, es importante incidir a lo largo del proceso de enseñanza en las formas de expresar las ideas o modelos mentales (ya sea verbalmente o por medio de esquemas o dibujos) al mismo tiempo que se van construyendo. Porque a menudo no hay coherencia entre los hechos o fenómenos, las ideas que los explican y la forma como se explican (Fernández et al., 2012)

En esta investigación, la aproximación a los modelos mentales se hará a partir de las representaciones gráficas que los alumnos hacen en relación con el origen y cambios del canto rodado y de la montaña del Montcau a lo largo de una propuesta de enseñanza – aprendizaje.

	ASPECTOS	CRITERIOS DE REALIZACIÓN	PREGUNTAS
MODELO DE CAMBIO GEOLÓGICO	Componentes espaciales/ materiales	Describir e identificar los materiales y estructuras implícitas y sus cambios.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo es, cómo era y cómo será? • ¿Cómo cambia, qué se conserva y qué se mantiene? • ¿Qué puedo saber de su pasado a partir de lo que veo? • ¿Cómo empieza (origen) y cómo acaba (dónde va) su historia? ¿En algún momento el “dónde viene” y el “dónde va” se encuentran?
	Componentes dinámicos	Describir e identificar los agentes causales, los procesos implicados y la temporalidad del cambio.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Qué lo hace cambiar (procesos y agentes)? • ¿Cuánto tarda en cambiar? • ¿Cómo es el cambio? • ¿Qué energía produce el cambio (interna y/o externa)?
	Control y regulación de los procesos	Interpretar los cambios a partir de las interacciones que se generan con el entorno.	<ul style="list-style-type: none"> • ¿Cómo es que pasa? • ¿Qué variables afectan al cambio? • ¿Qué impactos provocan los cambios en el medio? • ¿Qué riesgos comportan?

Tabla I. Modelo de cambio geológico para interpretar fenómenos geológicos.

LA PROPUESTA DE ENSEÑANZA-APRENDIZAJE

La propuesta de enseñanza-aprendizaje se estructura siguiendo las fases de la práctica modelizadora (Schwarz et al., 2009; Garrido y Couso, en prensa), incorporadas dentro de la estructura del ciclo de aprendizaje (Jorba y Sanmartí, 1994). Las prácticas modelizadoras (Schwarz et al., 2009) están centradas en la construcción y evaluación de los modelos de los alumnos mediante la corregulación y autorregulación de los mismos. Para ello, a lo largo del proceso de enseñanza-aprendizaje, a través de las distintas actividades, se promueve que los alumnos expresen, evalúen, revisen y apliquen los modelos tanto propios, como de los compañeros. Con el fin de operativizar y de hacer accesible y significativa este tipo de práctica, nos hemos basado en la adaptación de las fases que proponen Schwarz et al. (2009) y Garrido y Couso (en prensa). (Tabla II).

Expresión del modelo inicial
Presentar el fenómeno y sentir la necesidad sobre la comprensión del mismo Expresar el modelo inicial individualmente
Evaluación del modelo
Evaluar el modelo inicial analizando el nivel de ajuste con la realidad
Revisión del modelo propio
Revisar el modelo mejorando aspectos inadecuados
Aplicación del modelo
Utilizar el modelo para explicar un fenómeno nuevo

Tabla II. Fases de la práctica modelizadora.

Estas fases de la práctica modelizadora se han relacionado con las fases de ciclo de aprendizaje y se han concretado en una serie de actividades (Fig. 1). El ciclo de aprendizaje es el marco que permite organizar la adquisición del conocimiento científico escolar (Jorba y Sanmartí, 1994) a través de cuatro

fases (exploración y apropiación de objetivos; construcción de nuevas ideas; síntesis, estructuración y jerarquización y aplicación a nuevas situaciones) que incluyen actividades que van de más simples y concretas a más complejas y abstractas.

La primera fase de la propuesta tenía como objetivo presentar el fenómeno y crear la necesidad sobre la comprensión de la formación de los cantos rodados. Se inició la sesión dando a cada alumno un canto rodado del que debían hacer una descripción. A continuación se les preguntó dónde creían que lo habíamos encontrado. Tras esta discusión, en la que se plantearon distintas posibilidades, se les planteó que explicaran la historia del canto rodado y dibujaran cómo era éste en el pasado y cómo sería en el futuro (actividad 1). Las preguntas ¿cómo era, cómo es y cómo será el canto rodado? querían promover la expresión de los cambios de los materiales y, a su vez, el preguntarse por los procesos que los han generado y el tiempo requerido para los mismos. El dibujo que realizó cada alumno en este momento constituye su modelo inicial y será el que se irá revisando y evaluando.

En la siguiente fase se realizaron dos actividades:

- La actividad 2 tenía como objetivo discutir que un canto rodado puede provenir de cualquier tipo de roca y que son los procesos de meteorización, erosión y transporte los que configuran su forma característica.

Para ello, los futuros maestros realizaron una experiencia en el laboratorio donde se simulaba la formación de los tres tipos de rocas (sedimentaria, metamórfica e ígnea) mediante la aplicación de distintos procesos de cambio con ceras (erosión, transporte, sedimentación, compactación, fusión, solidificación, metamorfismo,...) (King, 2008). Esta actividad permite interpretar el ciclo de las rocas como un conjunto de procesos no lineales ni consecutivos que provocan que los materiales experimenten una serie de cambios que dan lugar a los distintos tipos de roca.

Una vez formados los distintos tipos de roca los alumnos discutían los procesos que pueden conferir a cada una de ellas la forma de canto rodado.

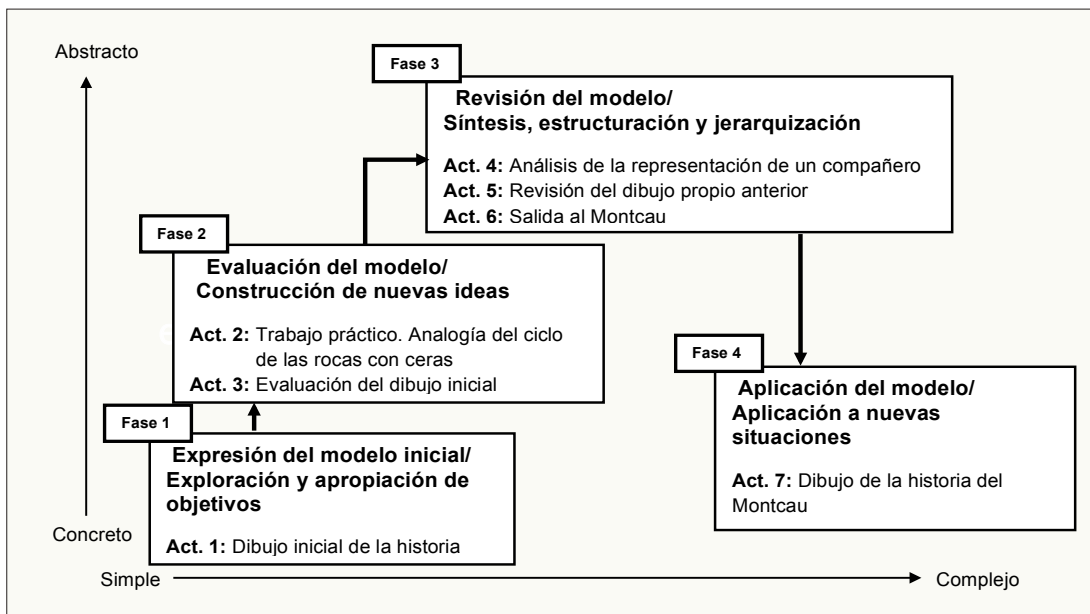


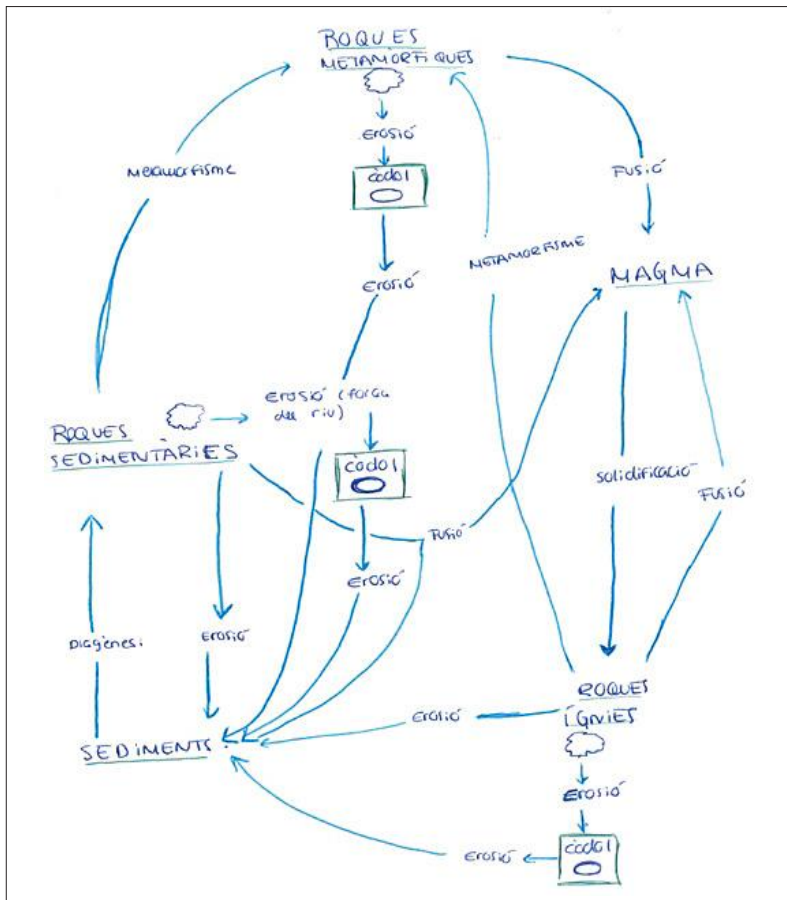
Fig. 1. Propuesta de enseñanza-aprendizaje.

A través del uso de esta analogía (Oliva, et al., 2001; Galagovsky y Greco, 2009) los futuros maestros pudieron establecer conexiones entre lo que sucede en el mundo real y la experiencia realizada.

La actividad 3 tenía como objetivo que los futuros docentes hicieran una evaluación de su modelo inicial. Para ello, en grupo, se les pidió que observaran sus dibujos iniciales sobre la historia del canto rodado y los de sus compañeros. Tras discutirlo con los miembros de su grupo volvieron a hacer el dibujo de la historia del canto rodado (dibujo 2 del canto rodado), especificando los cambios respecto a la representación inicial.

En la tercera fase se pretendía que los futuros maestros realizaran una sistematización y estructuración lógica del modelo. Con este objetivo, primero se les propuso que analizaran el dibujo de la historia del canto rodado que hizo una alumna de su misma clase en la primera fase. Se escogió esta representación (Fig. 2), pues era la que de manera más explícita representaba los cambios y las causas múltiples del cambio del canto rodado de manera cíclica. Para la revisión del modelo, los futuros maestros tuvieron que responder a una serie de preguntas (actividad 4): *¿Cómo empieza (origen, de dónde viene) y cómo acaba (dónde va) la historia del canto rodado? ¿En algún momento el “dónde viene” y el “dónde va” se encuentran?; ¿Cómo cambia el canto rodado (qué ha cambiado y qué se mantiene)?; ¿Qué le hace cambiar (procesos y agentes causantes del cambio)?*. Paralelamente, se les propuso la actividad 5 donde tenían que analizar el dibujo que habían hecho en la primera fase respondiendo a las mismas preguntas.

Fig. 2. Ciclo del canto rodado.



Además, y para asegurarnos que los alumnos mostraban evidencias de estructuración lógica del modelo y una revisión en profundidad de su modelo, se les pidió que en caso de que no pudieran contestar alguna de las preguntas, volvieran a hacer el dibujo, incorporando el aspecto o aspectos que les faltarían para responder a las preguntas (actividad 5). También en esta fase se realizó una salida de campo al Montcau (montaña que se encuentra en el Parque Natural de Sant Llorenç del Munt y el Obac). Uno de los objetivos de la salida era buscar indicios de la acción del agua en la modificación del paisaje de manera lenta y rápida (actividad 6).

Finalmente, en la cuarta fase se pretendía que los futuros maestros aplicaran los aprendizajes en una situación más compleja y, a la vez, pudieran reconocer las utilidades de los mismos. Para ello, aprovechamos la salida de campo para aplicar el modelo a una nueva situación/contexto. Más concretamente, se les pidió que hicieran un dibujo de la historia del Montcau atendiendo a las preguntas de la fase anterior. Previamente a la salida, un grupo se responsabilizó de buscar información sobre el Montcau. Consideramos que esta explicación realizada por un alumno puede facilitar al lector la comprensión de los apartados que vienen a continuación.

Hace 28 millones de años en la placa ibérica había un mar interior. A este mar llegaban ríos de trayectoria corta, pero muy torrenciales y, donde ahora está el litoral, había montañas de gran altitud. La fuerza del agua de los ríos erosionaba y arrastraba diferentes materiales. Los sedimentos y cantos rodados más gruesos se depositaban en el punto de llegada mientras que los más finos se dispersaban y entraban mar adentro. Con la acumulación de sedimentos y cantos rodados en las desembocaduras de los ríos, se crearon diferentes deltas como Montserrat y Sant Llorenç (donde se encuentra la montaña del Montcau). El macizo catalán, donde encontrábamos este mar interior, se fue erosionando y fragmentando hasta que una parte del territorio que rodeaba las montañas de Montserrat y Sant Llorenç se hundió debido a la falla del Vallès. El mar interior se fue secando hasta desaparecer. Sant Llorenç, después de 41 millones de años aún se sigue erosionando. Sus conglomerados tienen unas características arenosas y arcillosas, lo que los convierte en poco resistente a las erosiones.

CONTEXTO DE LA EXPERIENCIA

Este estudio se ha llevado a cabo en el marco de la asignatura de Didáctica de las Ciencias Experimentales con setenta y ocho alumnos de tercer curso del Grado de Educación Primaria de la Universitat Autònoma de Barcelona. La docente responsable de esta asignatura es la primera firmante de este artículo. El planteamiento de esta asignatura, dentro del plan de estudios, es ampliar y profundizar en los contenidos y las competencias necesarias para impartir la asignatura de Ciencias de la Naturaleza. En la asignatura se hace énfasis en las ideas científicas que hay que trabajar con el

Tabla III. Tabla para el análisis de las fases 1, 2 y 3.

		NIVEL DE COMPLEJIDAD			
		SIMPLE			COMPLEJO
NIVEL DE ABSTRACCIÓN	CONCRETO	Tipo 1: De roca angulosa a canto rodado	Tipo 2: De sedimentos a canto rodado	Tipo 3: De roca constituyente de relieve a canto rodado	Tipo 4: Ciclo del canto rodado
		1a. Antes (roca angulosa) Ahora (canto rodado) Después (canto rodado pequeño) (sin causalidad)	2a. Los sedimentos forman directamente el canto rodado (sin causalidad)	3a. El canto procede de una roca y ésta de un relieve (sin causalidad)	4a. Ciclo del canto rodado sin causalidad (comienza y termina en sedimentos)
	ABSTRACTO	1b. Antes (roca angulosa: sedimentaria, ígnea o metamórfica); Ahora (canto rodado); Después (roca sedimentaria)	2b. Los sedimentos forman directamente el canto rodado (con causalidad)	3b. El canto procede de una roca y ésta de un relieve (con causalidad)	4b. Ciclo de las rocas (sin incluir el canto rodado, la erosión de la roca angulosa)
			2c. Los sedimentos forman roca angulosa sedimentaria, ígnea o metamórfica (con causalidad)	3c. El canto procede de una roca y ésta de un relieve (con causalidad) incluye el origen	4c. Ciclo del canto rodado (con causalidad) A veces se ilustra el proceso con el paisaje
					4d. Ciclo del canto rodado con múltiples caminos (con causalidad)

alumnado de primaria. Es decir, lo que llamamos contenidos de la ciencia escolar (Izquierdo, 2005). Además se centra en la manera de plantear el proceso de enseñanza-aprendizaje como una actividad que integra la indagación, la modelización y la comunicación (Adúriz e Izquierdo, 2009). El estudio que mostramos a continuación está relacionado con el bloque de contenidos de la asignatura denominado “Enseñar y aprender sobre la Tierra y sus cambios en la escuela primaria”.

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS

Los alumnos realizaron cuatro representaciones y éstas se han analizado según el nivel de abstracción y complejidad. Para definir los niveles se ha tenido en cuenta el grado de explicitación en las representaciones de los siguientes aspectos: a) el origen y los cambios del canto rodado identificándose diferentes posibilidades (de un fragmento de roca angulosa, de sedimentos, de una roca ubicada en un paisaje); b) las causas del cambio (identificación de agentes y procesos de cambio) y c) la ubicación del cambio en un proceso cíclico. La Tabla III recoge y organiza las distintas tipologías de las representaciones. Entendemos el tipo 1 como la representación más simple y primitiva y el tipo 4 como la representación más compleja y avanzada. Para las fases 1, 2 y 3 se ha elaborado una misma tabla (Tabla III) y para la fase 4 otra (Tabla VIII). El

motivo que nos ha llevado a elaborar estas dos tablas recae en el hecho de que en la actividad de aplicación el contexto está planteado a una escala espacial diferente al de las otras fases. Mientras que la escala espacial de las tres primeras fases hace referencia a una escala local, puesto que el fenómeno estudiado es el canto rodado, en la fase 4 la escala espacial hace referencia a una escala global, ya que se refiere a un paisaje. No obstante, hay que tener en cuenta que hay representaciones en las fases 1, 2 y 3 que utilizan una representación a escala global (el paisaje) para hacer referencia a un elemento de escala local (el canto rodado).

La descripción de las distintas tipologías aparece a lo largo del análisis de los resultados.

ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En la Tabla IV presentamos los porcentajes de las tipologías de representación para las fases 1, 2 y 3. Esta tabla muestra que a lo largo de las fases, aumenta el nivel de abstracción y complejidad de las representaciones, ya que los alumnos incorporan la identificación de los agentes causales y los procesos implicados y una perspectiva cíclica de los cambios.

Paralelamente, mostramos otra forma de representación de los porcentajes de la Tabla IV en un gráfico de dispersión X Y en formato de burbujas 3D (Fig. 3), con el fin de facilitar la visualización de los resultados.

TIPO	TIPO 1			TIPO 2				TIPO 3			TIPO 4					
	%	1A	1B	%	2A	2B	2C	%	3A	3B	3C	%	4A	4B	4C	4D
FASE 1	71,8	X		7	X	X		19,7	X	X		2	X			
FASE 2	11,1	X	X	20,8	X	X	X	40,3	X	X	X	27,8	X	X	X	X
FASE 3	0			0				22,9		X	X	77,1		X	X	X

Tabla IV. Resultados de las fases 1, 2 y 3.

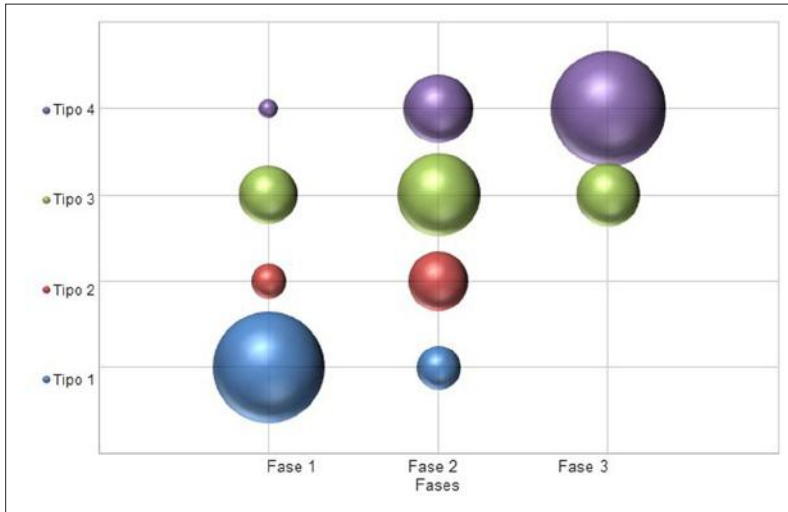


Fig. 3. Gráfico de dispersión XY en formato de burbujas 3D.

Análisis de los resultados de la fase 1. Expresión del modelo inicial

- *De roca angulosa a canto rodado (Tipo 1a)*: Recoge las representaciones que muestran la historia del canto rodado generalmente en tres fases: antes (roca angulosa), ahora (canto rodado) y después (canto rodado más pequeño) sin mostrar ningún indicio de causalidad.

- *De sedimentos a canto rodado (Tipo 2a y 2b)*: Recoge las representaciones que muestran un conjunto de sedimentos que se convierten en canto rodado. Mayoritariamente, el paso de sedimento a canto rodado es directo, sin mostrar ningún indicio de causalidad. Una minoría, representa un conjunto

de sedimentos que se convierten en canto rodado mostrando los indicios de causalidad (compactación de sedimentos) que han provocado el paso de sedimentos a roca angulosa, pero no se muestran los indicios de causalidad con respecto al paso de roca angulosa a canto rodado.

- *De roca constituyente de relieve a canto rodado (Tipo 3a y 3b)*: Recoge las representaciones que muestran un relieve o paisaje del que se desprende un fragmento de roca irregular. Este fragmento de roca interactúa con otras rocas, con el agua en movimiento y va cambiando y adquiriendo una forma redondeada. Muestran mayoritariamente indicios de causalidad (qué causa los cambios). Tales como la gravedad, el choque con otras rocas y la acción del agua en movimiento.

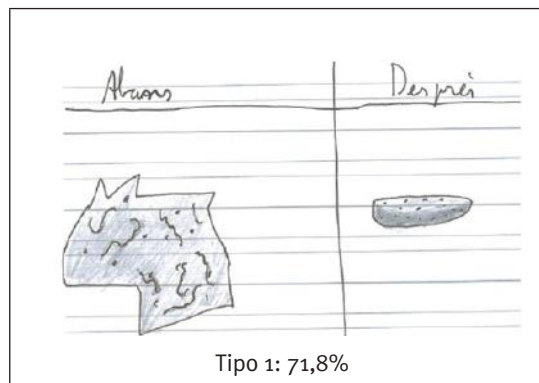
- *Ciclo del canto rodado (Tipo 4a)*: Recoge las representaciones que sitúan el canto rodado dentro de un proceso cíclico. Es una primera aproximación a la idea de ciclo, ya que se muestra el ciclo del canto rodado sin causalidad, es decir, el ciclo comienza y termina con sedimentos sin mostrar el agente causante de los cambios.

La Tabla V presenta los porcentajes de cada tipología con algunos ejemplos.

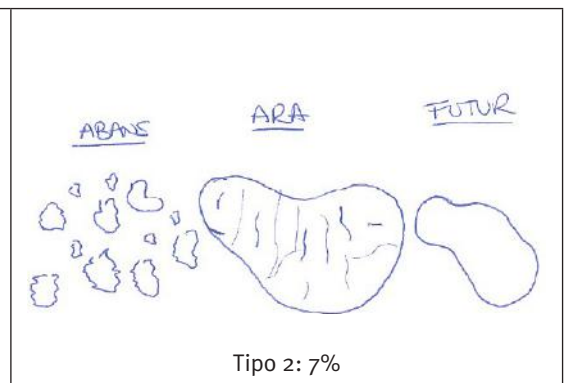
En esta fase predominan las tipologías más simples y concretas sin indicios de causalidad.

Análisis de los resultados de la fase 2. Evaluación del modelo

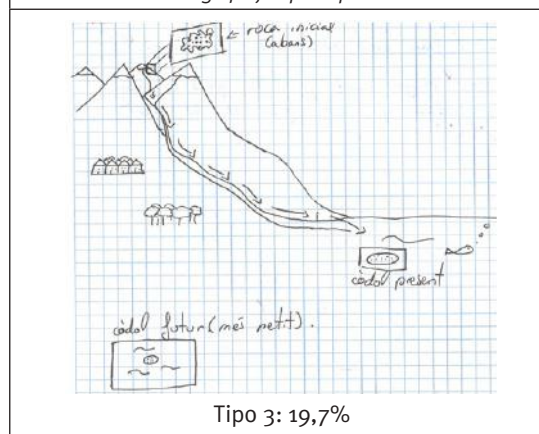
- *De roca angulosa a canto rodado (Tipo 1a y 1b)*: Al igual que en la fase anterior, recoge las representaciones que muestran la historia del canto rodado generalmente en tres fases: antes (roca angulosa), ahora



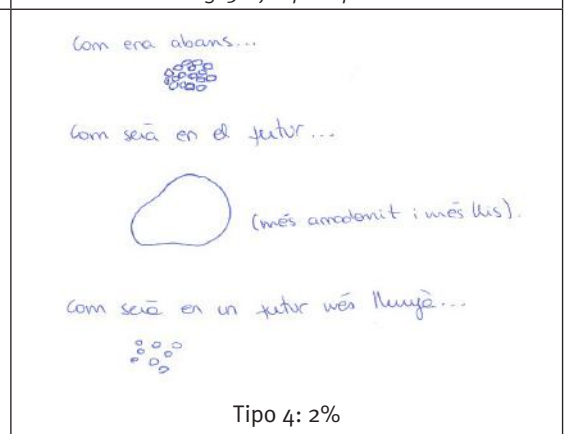
Tipo 1: 71,8%
Fig. 4. Ejemplo Tipo 1



Tipo 2: 7%
Fig. 5. Ejemplo Tipo 2



Tipo 3: 19,7%
Fig. 6. Ejemplo Tipo 3



Tipo 4: 2%
Fig. 7. Ejemplo Tipo 4

Tabla V. Ejemplos de representaciones de la fase 1.

(canto rodado) y después (canto rodado más pequeño) sin mostrar ningún indicio de causalidad. Las representaciones ahora explicitan, en algunos casos, que la roca angulosa puede ser sedimentaria, ígnea o metamórfica.

- *De sedimentos a canto rodado (Tipo 2a, 2b y 2c)*: Recoge las representaciones que muestran sedimentos que se convierten en rocas sedimentarias. Fragmento de estas rocas pasan a ser cantos rodados. Algunas representaciones muestran como en determinadas condiciones de presión y temperatura las rocas sedimentarias pueden pasar a ser rocas ígneas o metamórficas y fragmentos de estas rocas pasan a ser cantos rodados. Mayoritariamente, no se muestran los procesos que han provocado el paso de roca angulosa a canto rodado. En una minoría de las representaciones los sedimentos forman directamente el canto rodado.

- *De roca constituyente de relieve a canto rodado (Tipo 3a, 3b y 3c)*: Al igual que en la fase anterior, recoge las representaciones que muestran un relieve o paisaje del que se desprende un fragmento de roca irregular que interacciona con otros elementos y adquiere una forma redondeada. Muestran mayoritariamente indicios de causalidad. Ahora en las representaciones se observan unos paisajes o relieves más diversos incluyendo, en algunos casos, volcanes y rocas ígneas.

- *Ciclo del canto rodado (Tipo 4a, 4b, 4c y 4d)*: Recoge las representaciones que sitúan el canto rodado en un proceso cíclico. Se pueden encontrar cuatro representaciones de ciclo. En algunas el ciclo del canto rodado no incluye causalidad, es decir, el ciclo comienza y termina con sedimentos sin mostrar el agente causante de los cambios. Otras, hacen la representación del ciclo de las rocas mostrando los procesos que han generado cambios en la roca, pero no incluyen el canto rodado dentro de éste. También

se pueden encontrar representaciones que hacen referencia al ciclo del canto rodado con causalidad donde se especifica el causante de los cambios en el canto rodado y, en algunos casos, se ilustra el proceso con el paisaje. Finalmente, también se puede encontrar el ciclo del canto rodado con múltiples caminos y con causalidad. A veces, en las dos últimas subtipologías mencionadas dentro de la tipología 4, se pueden encontrar algunas representaciones que muestran cómo a determinadas condiciones de presión y temperatura las rocas sedimentarias pueden pasar a ser rocas ígneas o metamórficas.

La Tabla VI presenta los porcentajes de cada tipología con algunos ejemplos.

A diferencia de la fase anterior, en esta fase se puede observar como un mayor porcentaje de representaciones se encuentran en las tipologías más complejas y abstractas. Además, muestran más indicios de causalidad.

Análisis de los resultados de la fase 3. Revisión del modelo

- *De roca constituyente de relieve a canto rodado (Tipo 3b y 3c)*: Al igual que en las fases anteriores, recoge las representaciones que muestran un relieve o paisaje del que se desprende un fragmento de roca que interacciona con otros elementos y adquiere una forma redondeada. En algunos casos aparece el origen mediante volcanes y rocas ígneas. A diferencia de las fases anteriores, ahora todas las representaciones muestran indicios de causalidad.

- *Ciclo del canto rodado (Tipo 4b, 4c y 4d)*: Al igual que en las fases anteriores, recoge las representaciones que sitúan el canto rodado dentro del ciclo de las rocas. Se pueden encontrar, a diferencia de la fase anterior, tres representaciones de ciclo. Algunas representaciones muestran el ciclo de las

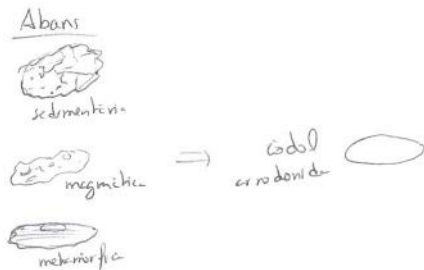
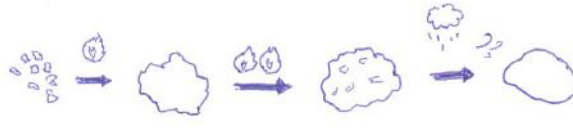
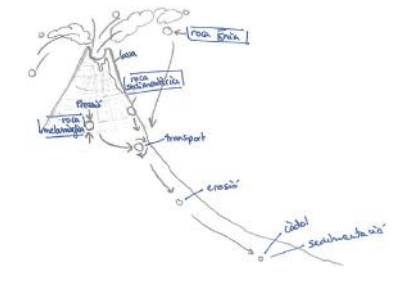
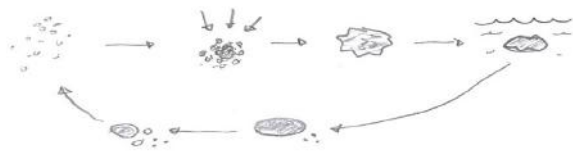
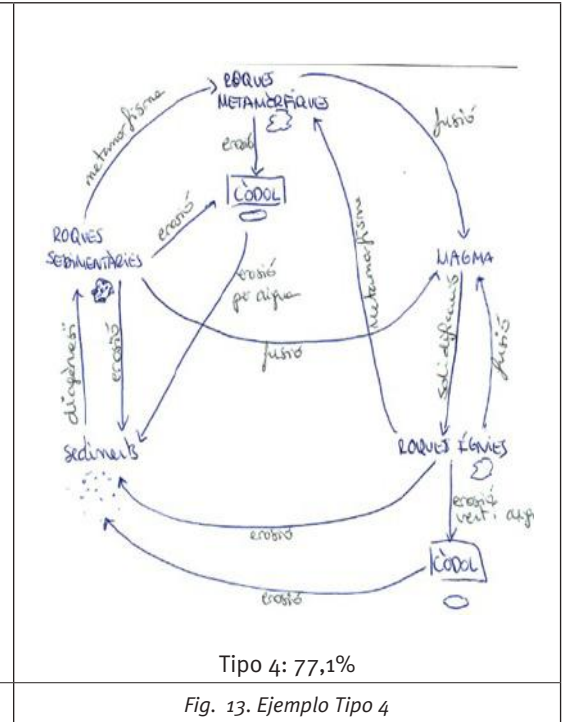
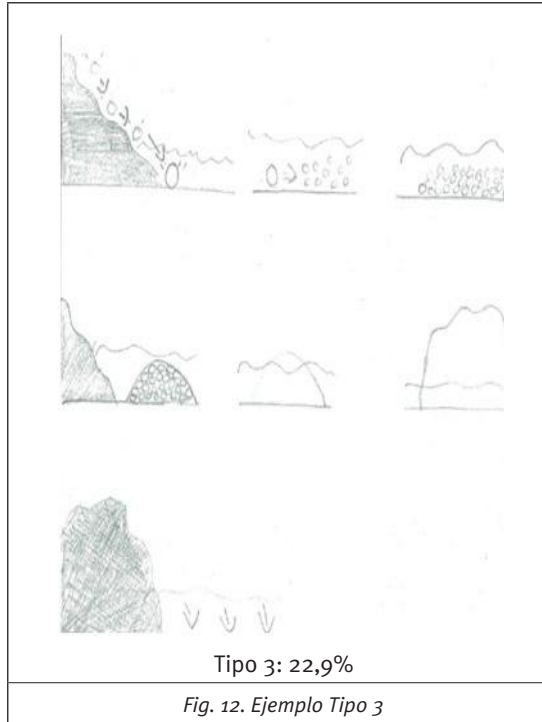
 <p>Tipo 1: 11,1%</p>	 <p>Tipo 2: 20,8%</p>
<p>Fig. 8. Ejemplo Tipo 1</p>	<p>Fig.9. Ejemplo Tipo 2</p>
 <p>Tipo 3: 40,3%</p>	 <p>Tipo 4: 27,8%</p>
<p>Fig. 10. Ejemplo Tipo 3</p>	<p>Fig. 11. Ejemplo Tipo 4</p>

Tabla VI. Ejemplos de representaciones de la fase 2.

Tabla VII. Ejemplos de representaciones de la fase 3.



rocas sin incluir el canto rodado. También se pueden encontrar representaciones que hacen referencia al ciclo del canto rodado con causalidad y, en algunos casos, se ilustra el proceso con el paisaje y/ o muestran los procesos que producen el paso de rocas sedimentarias a ígneas o metamórficas. Finalmente, también se puede encontrar el ciclo del canto rodado con múltiples caminos y con causalidad y algunas representaciones muestran los procesos que producen el paso de rocas sedimentarias a ígneas o metamórficas. A diferencia de las fases anteriores, ahora todas las representaciones muestran indicios de causalidad.

La Tabla VII presenta los porcentajes de cada tipología con algunos ejemplos.

La Tabla VII muestra que en esta fase, las representaciones con tipologías más simples, la tipología 1 y la tipología 2 desaparecen. Dando lugar a un mayor porcentaje de representaciones más complejas y abstractas. Además, otro dato relevante, a diferencia de las fases anteriores, es que en esta fase todas las representaciones muestran indicios de causalidad.

Análisis de los resultados de la fase 4. Aplicación del modelo

El hecho de que en la actividad de aplicación el contexto esté planteado a una escala global, ya que hace referencia a la formación de un relieve (paisaje), conlleva la desaparición de dos tipologías de carácter local (la tipología 1 y 2). Ambas tipologías realizan representaciones empleando cantos rodados o sedimentos. Al mismo tiempo, desaparecen algunas subtipologías de la tipología 4. En especial, donde se hacía referencia al ciclo del canto rodado/roca empleando cantos rodados y sedimentos, es decir, elementos a escala local.

Como resultado, encontramos que sólo se representan las tipologías 3 y 4, pero con ciertas variantes (ahora denominadas 3' y 4'). El hecho de que aparezcan variantes puede venir condicionado por varios factores. Un primer factor haría referencia, tal y como se menciona anteriormente, al paso de la representación de una escala local a una escala global. Paralelamente, otro factor recae en el tipo de actividad. Es decir, al ser una actividad de apli-

Tabla VIII. Tipologías de representaciones de la fase 4.

NIVEL DE ABSTRACCIÓN	NIVEL DE COMPLEJIDAD	
	← SIMPLE	→ COMPLEJO
CONCRETO	Tipo 3': Paisaje	Tipo 4': Ciclo
	Montaña preexistente que se va erosionando	Ciclo no contextualizado con el Montcau
	Río - sedimentos - delta - montaña (sin causalidad)	Río - sedimentos - delta - mar- relieve- sin erosión posterior- montaña (sin causalidad)
	Río - sedimentos - delta - mar- relieve- sin erosión posterior (con o sin causalidad)	Río - sedimentos - delta - mar- relieve- con erosión posterior- sedimentos- río (con causalidad)
ABSTRACTO	Río - sedimentos - delta - mar- relieve- con erosión posterior (con causalidad)	

cación, los futuros maestros tienen que ser capaces de extrapolar los aprendizajes provenientes de las actividades anteriores, a un contexto diferente. Por lo tanto, el nivel de dificultad aumenta considerablemente respecto a las fases anteriores.

En la Tabla VIII se encuentran las tipologías de representaciones para la fase 4.

- *Paisaje (Tipo 3')*: Recoge las representaciones que muestran la formación de un paisaje o relieve. Se pueden encontrar cuatro representaciones diferentes de esta misma tipología. Algunas representaciones muestran una montaña preexistente, de origen desconocido, que se va erosionando mediante diferentes agentes externos. Otras representaciones muestran como un río con sedimentos desemboca en un delta y forman una montaña sin mostrar los agentes causantes de los cambios.

También podemos encontrar representaciones que muestran como un río con sedimentos desemboca en un delta de un mar interior. Esta última representación incluye dos variantes: algunas se representan con las grandes unidades de relieve de Cataluña, pero sin causalidad en la formación de la montaña; otras incluyen el movimiento de placas tectónicas y muestran causalidad en la formación de la montaña.

Finalmente, encontramos representaciones que muestran como un río con sedimentos desemboca en un delta de un mar interior, que se acaba secando, y forman una montaña mostrando los agentes causantes de los cambios. Esta representación incluye tres variantes: algunas representaciones incluyen el movimiento de placas tectónicas; otras incluyen la falla originaria; también podemos encontrar algunas con un final abierto. Todas las representaciones de esta subtipología terminan erosionando la montaña y generando nuevos sedimentos. Por lo tanto, sería el paso previo que permitiría volver a empezar el ciclo.

- *Ciclo (Tipo 4')*: Recoge las representaciones que muestran la formación de un paisaje o relieve a través de un ciclo. Se pueden encontrar tres representaciones diferentes de esta misma tipología. Algunas representaciones muestran el ciclo de un paisaje pero sin relación con la historia de la formación del Montcau. Otras representaciones muestran como un

río con sedimentos desemboca en un delta de un mar interior, que se acaba secando, y forman una montaña sin mostrar los agentes causantes de los cambios. Finalmente, encontramos representaciones que sí que muestran los agentes causales de la formación de la montaña y, además, terminan erosionando la montaña y generando nuevos sedimentos.

La Tabla IX presenta los porcentajes de cada tipología e ilustra ejemplos.

Podemos observar que la mayoría de representaciones se encuentran en la tipología 3'. Esto puede ser debido, en parte, a que la perspectiva estática, debida a la lentitud con que se producen los cambios geológicos en la formación de un relieve, influye en el hecho de considerar que el paisaje pueda cambiar en un futuro. Por tanto, dificulta la visión cíclica de los cambios.

RÚBRICA PARA LA EVALUACIÓN DEL MODELO CAMBIO GEOLÓGICO

La utilización de rúbricas en investigación didáctica es presente y recurrente en estudios recientes (Martínez-Figueira, et al., 2013; Urbieta, et al., 2011; Raposo y Martínez, 2011). En este estudio, el análisis realizado ha permitido elaborar una rúbrica para evaluar el nivel de adquisición de los aprendizajes del modelo cambio geológico. La rúbrica emerge de la confluencia entre el modelo de cambio geológico desde el punto de vista sistémico (Tabla I) y la evolución de las representaciones de los estudiantes a lo largo de la propuesta de enseñanza aprendizaje (Tabla III). La rúbrica se puede aplicar a la interpretación de un fenómeno a escala local (formación y cambios de un canto rodado) y de un fenómeno a escala global (formación y cambios en un paisaje) (Tabla X). Esta herramienta pretende orientar al profesorado en la planificación de actividades de enseñanza-aprendizaje y a los alumnos a la hora de valorar sus aprendizajes.

La rúbrica recoge un conjunto de criterios organizados por niveles de adquisición (Sanmartí, 2010). Entendemos el nivel 1 como el nivel más bajo (novel) de adquisición y el nivel 4 como el nivel más alto (experto) de adquisición.

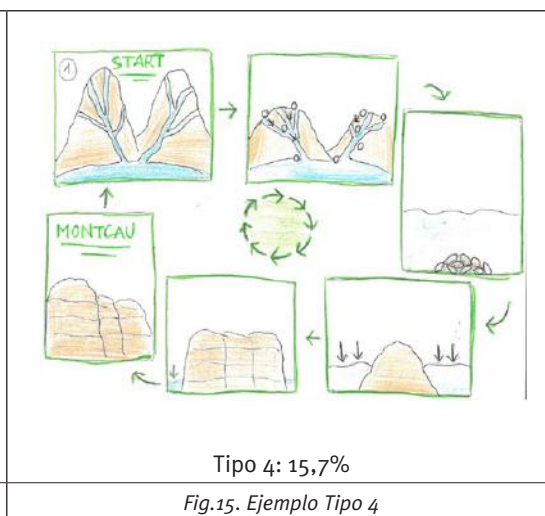
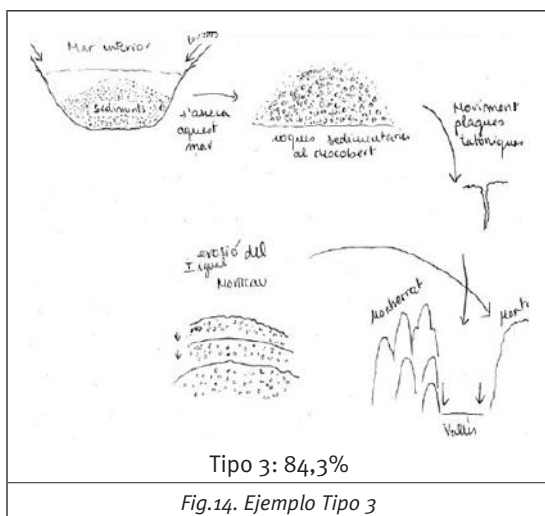


Tabla IX. Ejemplos de representaciones de la fase 4.

EJEMPLO DE APLICACIÓN DE LA RÚBRICA

A modo de ejemplo, en la Tabla XI mostraremos la aplicación de la rúbrica a las representaciones realizadas por una de las participantes del estudio a lo largo de la propuesta de enseñanza- aprendizaje.

- *Fase 1 (Nivel 1)*: En el criterio de realización sobre los cambios y evoluciones que experimenta el canto rodado en función de los agentes y procesos de cambio, ubicamos a la futura maestra en un nivel 1 (novel). Ésta muestra la historia del canto rodado mediante tres fases: antes (roca angulosa), ahora (canto rodado) y después (canto rodado más peque-

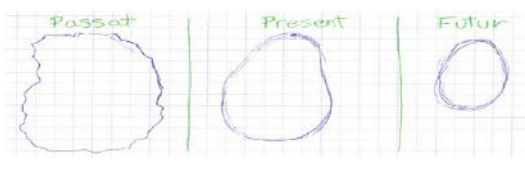
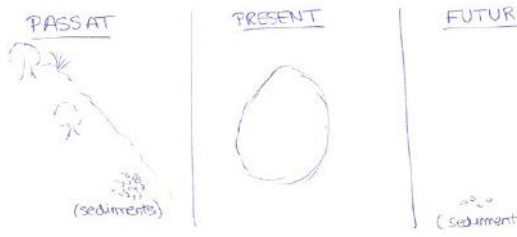
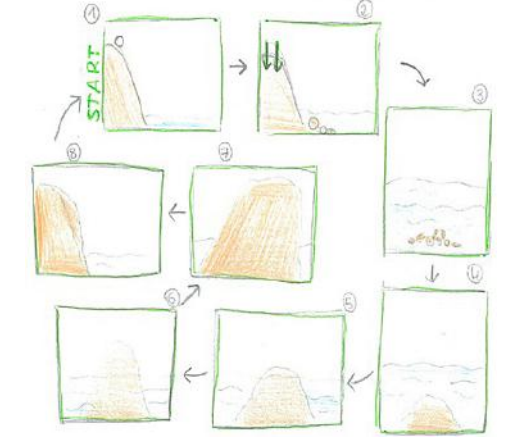
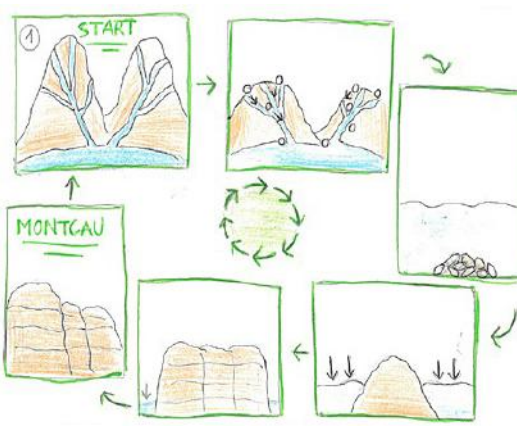
ño) sin mostrar ningún indicio de causalidad. En el criterio de realización sobre la justificación de la historia del canto rodado teniendo en cuenta los procesos y agentes de cambio, la ubicamos en un nivel 1 (novel). Esto es debido a que no contempla ningún agente causante de los cambios en el canto rodado. En el criterio de realización sobre la vinculación del ciclo de las rocas con la historia del canto rodado, la ubicamos en un nivel 1 (novel) porque detecta los cambios que experimenta el canto rodado, pero no cierra el ciclo.

- *Fase 2 (Nivel 2)*: En el criterio de realización sobre los cambios y evoluciones que experimenta el canto rodado en función de los agentes y procesos

Tabla X. Rúbrica para la evaluación del modelo cambio geológico.

ASPECTO	CRITERIOS DE REALIZACIÓN	PREGUNTAS	CRITERIOS DE RESULTADOS			
			NIVEL 4 (EXPERTO)	NIVEL 3 (AVANZADO)	NIVEL 2 (APRENDIZ)	NIVEL 1 (NOVEL)
COMPONENTES ESPACIALES/ MATERIALES	Describir e identificar los materiales y estructuras implícitas y sus cambios.	¿Cómo es, cómo era y cómo será?	Muestra el origen diverso y los cambios que ha experimentado, experimenta y experimentará el canto rodado o el Montcau. Demuestra que un canto rodado puede provenir de cualquier tipo de roca y ésta puede cambiar. Representa el ciclo del canto rodado o la formación del Montcau mediante múltiples caminos.	Muestra el origen y los cambios que ha experimentado, experimenta y experimentará el canto rodado o el Montcau. Representa el ciclo del canto rodado o la formación del Montcau mediante un único camino.	Muestra el origen y los cambios que ha experimentado, experimenta y experimentará el canto rodado (sedimentos, roca angulosa o sedimentaria y canto rodado) o el Montcau. Hace una representación cíclica sin incluir el fenómeno objeto de estudio (el canto rodado o la historia del Montcau)	Muestra los cambios (roca angulosa), el durante (canto rodado) y el después (canto rodado más pequeño). Identifica los cambios (o algunos cambios) que experimenta el canto rodado o el Montcau a lo largo de su historia, pero no cierra el ciclo.
		¿Cómo cambia, qué se conserva y qué se mantiene?				
		¿Qué puedo saber de su pasado a partir de lo que veo?				
		¿Cómo empieza (origen) y cómo acaba (dónde va) su historia? ¿En algún momento el "dónde viene" y el "dónde va" se encuentran?				
COMPONENTES DINÁMICOS	Describir e identificar los agentes causales, los procesos implicados y la temporalidad del cambio.	¿Qué lo hace cambiar (procesos y agentes)?	Justifica la historia del canto rodado o del Montcau teniendo en cuenta las condiciones en que se formó y los cambios que ha experimentado posteriormente. Contempla procesos externos (erosión del agua, del viento,...) y procesos internos en la formación del Montcau	Justifica la historia del canto rodado o del Montcau teniendo en cuenta los cambios que ha experimentado posteriormente. Solo contempla los procesos externos (erosión del agua, del viento,...).	Contempla algunos procesos externos que producen los cambios en el canto rodado o el Montcau (erosión del agua, del viento,...), pero se olvida de algunos.	Reconoce los cambios pero no contempla los procesos o agentes que los producen.
		¿Cuánto tarda en cambiar?				
		¿Qué energía produce el cambio (interna o externa)?				
		¿Cómo es el cambio?				
CONTROL Y REGULACIÓN DE LOS PROCESOS	Interpretar los cambios a partir de las interacciones que se generan con el entorno.	¿Qué variables afectan a la interacción?	Interpreta los cambios teniendo en cuenta las interacciones que se generan con el entorno. El proceso se ilustra a una escala global mediante paisaje. Muestra todos los impactos que generan los cambios locales en la modificación del paisaje y el impacto de los cambios globales en los elementos locales.	Interpreta algunos cambios teniendo en cuenta las interacciones que se generan con el entorno. El proceso se ilustra a una escala global mediante paisaje. Muestra algunos impactos que generan los cambios locales en la modificación del paisaje y viceversa.	Parte de la idea de origen local y se ilustra el proceso solo con la evolución del canto rodado o del Montcau de manera aislada. El proceso se ilustra a una escala local, pero puede incorporar algún elemento del paisaje. Muestra, puntualmente, algún impacto que genera los cambios locales en la modificación del paisaje o viceversa.	Parte de la idea de origen local y se ilustra el proceso solo con la evolución del canto rodado o del Montcau de manera aislada (sin contemplar interacciones ni cambios con el entorno). No muestra los impactos que generan los cambios locales en la modificación del paisaje ni viceversa.
		¿Qué impactos provocan los cambios en el medio?				
		¿Qué riesgos comportan?				

Tabla XI.
Representaciones de una participante a lo largo de la propuesta de enseñanza aprendizaje.

 <p>Fase 1: Nivel 1</p>	 <p>Fase 2: Nivel 2</p>
<p>Fig. 16. Ejemplo alumna Nivel 1</p>	<p>Fig. 17. Ejemplo alumna Nivel 2</p>
 <p>Fase 3: Nivel 4</p>	 <p>Fase 4: Nivel 4</p>
<p>Fig. 18. Ejemplo alumna Nivel 4</p>	<p>Fig. 19. Ejemplo alumna Nivel 4</p>

de cambio, ubicamos a la futura maestra en un nivel 2 (aprendiz). Ésta muestra la historia del canto rodado mediante tres fases: antes (sedimentos), durante (roca angulosa) y después (sedimentos). En el criterio de realización sobre la justificación de la historia del canto rodado teniendo en cuenta los procesos y agentes de cambio, la ubicamos en un nivel 2 (aprendiz), ya que contempla la erosión de los choques como agente externo que produce los cambios en el canto rodado. En el criterio de realización sobre la vinculación del ciclo de las rocas con la historia del canto rodado, la ubicamos en un nivel 2 (aprendiz). Ya que se acerca a la idea de ciclo cuando ilustra que el proceso empieza y termina con sedimentos.

- Fase 3 (Nivel 4): En el criterio de realización sobre los cambios y evoluciones que experimenta el canto rodado en función de los agentes y procesos de cambio, ubicamos a la futura maestra en un nivel 3 (avanzado). Ésta muestra los cambios y evoluciones más generales que experimenta el canto rodado en función de los agentes y procesos de cambio. En el criterio de realización sobre la justificación de la historia del canto rodado teniendo en cuenta los procesos y agentes de cambio, la ubicamos en un nivel 3 (avanzado) ya que justifica la historia del canto rodado teniendo en cuenta los cambios que ha experimentado contemplando gran parte de los agentes externos (erosión del agua, choques,...). Finalmente, en el criterio de realización sobre la vinculación del ciclo de las rocas con la historia del canto rodado, la ubicamos en un nivel 3 (avanzado). Esto es debido a que representa el ciclo del canto rodado mediante un único camino.

- Fase 4 (Nivel 4): En el criterio de realización sobre los cambios y evoluciones que experimenta el Montcau en función de los agentes y procesos de cambio, ubicamos a la futura maestra en un nivel 3 (avanzado). Ésta muestra los cambios y evoluciones más generales que experimenta el Montcau en función de los agentes y procesos de cambio. En el criterio de realización sobre la justificación de la historia del Montcau teniendo en cuenta los procesos y agentes de cambio, la ubicamos en un nivel 4 (experto), pues es capaz de justificar la historia del Montcau teniendo en cuenta las condiciones en que se formó y los cambios que ha experimentado posteriormente. Contempla tanto agentes externos (erosión del agua, viento,...), como procesos de origen interno. Finalmente, en el criterio de realización sobre la vinculación del ciclo de las rocas con la historia del Montcau, la ubicamos en un nivel 3 (avanzado). Esto es debido a que representa el ciclo del Montcau mediante un único camino.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES

La finalidad de este estudio era analizar los diferentes tipos de representaciones del alumnado del grado de educación primaria en relación con los cambios que experimenta un canto rodado y un paisaje desde la perspectiva del modelo cambio geológico. A lo largo de la propuesta de enseñanza aprendizaje hemos podido observar cambios y evoluciones en el modelo de los futuros maestros. En una primera fase, predominaban las represen-

taciones más simples, que identifican cambios en los componentes materiales (los cantos se hacen más pequeños) sin cuestionarse su origen o los procesos implicados en el cambio. A medida que avanzaban las fases (fase 2 y 3) de la propuesta de enseñanza aprendizaje, gran parte de los futuros maestros han ido incorporando los componentes dinámicos del sistema en la interpretación del fenómeno de la formación de los cantos rodados en un marco de control y regulación de estos procesos. Constatamos que la manera de aproximar a los futuros docentes a la interpretación de este fenómeno mediante el modelo de cambio geológico, les ha permitido comprender los mecanismos del cambio de los cantos rodados y aplicarlos a un nuevo contexto (fase 4). En nuestro caso, relacionado con la formación del relieve de la montaña del Montcau. De esta manera, el modelo cambio geológico estructurado a través de componentes espaciales, dinámicos y de control-regulación tiene potencialidad para explicar diferentes fenómenos del mundo natural.

Asumimos que el hecho de haber centrado la construcción y evaluación del modelo mediante las prácticas modelizadoras ha favorecido su mejora a través de la revisión de aspectos específicos. Otra actividad clave que ha contribuido al cambio del modelo inicial ha sido el trabajo práctico sobre la analogía del ciclo de las rocas con ceras. Esta actividad contribuyó a que los futuros docentes pudieran interpretar el ciclo de las rocas como un conjunto de procesos no lineales ni consecutivos que provocan que los materiales experimenten una serie de cambios que dan lugar a los distintos tipos de roca y discutir los agentes causales y procesos que pueden conferir a cada una de ellas la forma de canto rodado. También la salida fue un elemento clave ya que permitió aplicar la misma manera de mirar la historia del canto rodado a la historia del Montcau.

Una de las consecuencias que se derivan de este estudio es la importancia de ofrecer a los alumnos oportunidades para expresar, evaluar, revisar y aplicar el modelo, mediante la corregulación y autorregulación de los mismos. El hecho de haber creado la necesidad sobre la comprensión del fenómeno ha tenido como consecuencia una mayor implicación por parte del alumnado. Destacamos que reelaborar la misma historia repetidas veces, mediante las representaciones gráficas como expresión del modelo, no ha sido una dificultad, sino un desafío que ha servido para evaluar, discutir y modificar el modelo. Así mismo, un instrumento de evaluación que emerge de este trabajo es la rúbrica para evaluar el nivel de adquisición de los aprendizajes de los alumnos. Esta herramienta pretende ser de utilidad para los profesores a la hora de planificar y evaluar actividades relacionadas con el modelo cambio geológico.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha llevado a cabo en el contexto de los proyectos EDU2015-66643-C2-1-P y 2014SGR1492.

BIBLIOGRAFÍA

- Adúriz, A. e Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Año 4, Nº. Extra 1, 40-49.
- King, C. (2008). El Ciclo de las Rocas en cera. Demuestre los procesos del Ciclo de las Rocas utilizando una vela. En: <http://www.earthlearningidea.com>
- Fernández, M. D., Gurutze, M., Márquez, C. y Sanmartí, N. (2012). El origen de los terremotos: representaciones del alumnado del Grado de Educación Primaria. En: *XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología* (Eds.: A. M. Sarmiento, M. Cantano y G. R. Almodóvar). Universidad de Huelva: Huelva.
- Galagovsky, L. R. y Greco, M. (2009). Uso de analogías para el "aprendizaje sustentable": el caso de la enseñanza de los niveles de organización en sistemas biológicos y sus propiedades emergentes. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, Año 4, Nº. Extra 1, 10-33.
- Garrido, A. y Couso, D. (en prensa) Pre-service teachers' perceptions about modelling practices for the construction of scientific models. *ESERA 2015 Electronic Proceedings*.
- Gilbert, J.K. y Boulter, C.J. (1998). Learning science through models and modelling, a Tobin, K. y Fraser, B. (Eds.). *International Handbook of Science Education*, 53-66, Dordrecht: Kluwer.
- Guiu, M. y Márquez, C. (2009). Els còdols del barranc i l'aigua. *Perspectiva Escolar*, 339, 15-22.
- Izquierdo, M. (2005). Hacia una teoría de los contenidos escolares. *Enseñanza de las ciencias*, 23.1, 111-122
- Jorba, J. y Sanmartí, N. (1994). La luz y las sombras. *Cuadernos de pedagogía*, 221, 20-23.
- Kortz, K. M., & Murray, D. P. (2009). Barriers to College Students Learning How Rocks Form. *Journal of Geoscience Education*, 57.4, 300-315.
- Kusnick, J. (2002). Growing pebbles and conceptual prisms - Understanding the source of student misconceptions about rock formation. *Journal of Geoscience Education*, 50.1, 31-39.
- Márquez, C. y Bach, J. (2008) 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-Figueira, E., Tellado-González, F., y Raposo-Rivas, M. (2013). La rúbrica como instrumento para la auto-evaluación: un estudio piloto. *REDU. Revista de Docencia Universitaria*, 11.2, 373-390.
- Martínez-Frías, J. (2009). *Alfabetización en Ciencias de la Tierra: Las grandes Ideas en Ciencias de la Tierra y los Conceptos que las Sustentan* [archivo en PDF]. Centro de Astrobiología, CSIC-INTA TIERRA: Red Temática de Ciencias de la Tierra. Recuperado de: http://www.earthsciweek.org/sites/default/files/SEED/ESLP_Spanish.pdf
- OCDE (2006). *PISA 2006. Marco de la evaluación. Conocimientos y habilidades en ciencias, matemáticas y lectura*. París. OCDE
- Oliva, J. M., Aragón, M. M., Mateo, J. y Bonat, M. (2001). Una propuesta didáctica basada en la investigación para el uso de analogías en la enseñanza de las ciencias, en *Revista Enseñanza de las Ciencias*, 19.3, 453-470.
- Pedrinaci, E. (2009). Origen y evolución de la Tierra. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 62, 8.
- Pedrinaci, E., Alcalde, S., Alfaro, P., Almodóvar, G.R., Barrera, J.L., Belmonte, A., Brusi, D., Calonge, A., Cardona,

V., Crespo-Blanc, A., Feixas, J.C., Fernández-Martínez, E., González-Díez, A., Jiménez-Millán, J., López-Ruiz, J., Mata-Perelló, J.M., Pascual, J.A., Quintanilla, L., Rábano, I., Rebollo, L., Rodrigo, A. y Roquero, E. (2013). Alfabetización en ciencias de la Tierra. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 21.2, 117-129.

Raposo, M., y Martínez, E. (2011). La rúbrica en la enseñanza universitaria: un recurso para la tutoría de grupos de estudiantes. *Formación universitaria*, 4.4, 19-28.

Sanmartí, N. (2010). Avaluar per aprendre. En: *L'avaluació per millorar els aprenentatges de l'alumnat en el marc del currículum per competències*. Generalitat de Catalunya. Departament d'Educació. Direcció General de l'Educació Bàsica i el Batxillerat.

Schwarz, C. V., Reiser, B. J., Davis, E. A., Kenyon, L., Achér, A., Fortus, D., Shwartz, Y., Hug, B. y Krajcik, J. (2009). Developing a learning progression for scientific modeling: Making scientific modeling accessible and meaningful for learners. *Journal of Research in Science Teaching*, 46.6, 632-654.

Urbieta, J. M. E., Garayalde, K. A., y Losada, D. (2011). Diseño de rúbricas en la formación inicial de maestros/as. *Revista de Formación e Innovación Educativa Universitaria*, 4.3, 156-169. ■

Este artículo fue recibido el día 22 de enero de 2016 y aceptado definitivamente para su publicación el 10 de mayo de 2016.