

LOS MODELOS ANALÓGICOS EN GEOLOGÍA: IMPLICACIONES DIDÁCTICAS. EJEMPLOS RELACIONADOS CON EL ORIGEN DE MATERIALES TERRESTRES.

Analogical models in Geology: Didactical implications. Some examples on the origin of earth materials.

Rafael M. Álvarez (1)* y Enrique García de la Torre (2)*

RESUMEN:

La dificultad de reproducir en un laboratorio escolar fenómenos geológicos naturales, debida a condicionantes físicos, químicos, espaciales y temporales, hace recomendable, en muchos casos, utilizar modelos analógicos como diseños experimentales en una metodología de tratamiento y resolución de problemas. Así se puede facilitar que se superen por parte del alumnado concepciones estáticas sobre el origen de los materiales terrestres.

ABSTRACT:

The difficulty of reproducing natural geological phenomena in a school laboratory, which is due to physical, chemical, spatial and temporal determinants, very often demands the use of analogical models as experimental designs in a methodology of problems solving. In this way it would be easier for students to get over static conceptions about the origin of earth materials.

Palabras clave: modelos analógicos, tratamiento de problemas, origen de las rocas sedimentarias, origen de los fósiles.

Keywords: Analogical models, problems solving, origin of sedimentary rocks, origin of fossils.

INTRODUCCIÓN.

De las ciencias de la Naturaleza la física y la química tienen, en general, menos dificultad para reproducir en el laboratorio fenómenos naturales relacionados con ellas; la biología encuentra más inconvenientes a la hora de hacerlo pero es, sobre todas ellas, la Geología, ciencia con una dimensión histórica fundamental, la que tiene mucho más restringida esta posibilidad porque las condiciones en que se llevan a cabo los fenómenos geológicos hacen difícil, cuando no imposible, reproducirlas en un laboratorio y más aún en un laboratorio escolar.

Las principales de estas dificultades, algunas insalvables, son:

- El espacio en que se producen los fenómenos geológicos, por su extensión o profundidad.
- El tiempo de duración muy dilatada en esos procesos, excepto en el caso de los eventos geológicos como erupciones, terremotos, riadas, ...
- Las enormes magnitudes de las variables físicas (presiones, temperaturas, caudales, ...) no reproducibles en la mayoría de los casos en un laboratorio.

LOS MODELOS ANALÓGICOS EN GEOLOGÍA.

Dadas las dificultades procedimentales citadas, está muy extendido el uso de *modelos analógicos* en la enseñanza de la Geología.

Los modelos analógicos tratan de representar las semejanzas con procesos o fenómenos naturales, obviando las dificultades, al realizar las experiencias en contextos espaciales y temporales más reducidos y condiciones físico-químicas *análogas* a las reales.

IMPLICACIONES DIDÁCTICAS DE SU UTILIZACIÓN.

En la mayor parte de los materiales y publicaciones que hacen referencia a experiencias prácticas de Geología a través de modelos analógicos, solo se presentan esos modelos y se indica como ha de procederse para su elaboración y puesta en práctica; no se contextualiza ni se fundamenta su utilización. De manera implícita representan procedimientos de ilustración de la teoría en un modelo inductivista y resultan experiencias anecdóticas de cuyos resultados no se extraen conclusiones generales respecto a los fenómenos geológicos que reproducen análogamente.

(1) I.B. "Averroes". Córdoba. – (2) I.B. "Fidiana". Córdoba

* Equipo "TERRA" de investigación en Didáctica de las Ciencias de la Tierra. Centro de Enseñanzas Propias (ICE) Universidad de Córdoba. Apartado 5003. 14004 Córdoba



Desde una visión constructivista del aprendizaje, en nuestra opinión, el uso de modelos analógicos tiene una gran potencialidad pero ha de tenerse en cuenta una serie de condiciones para evitar no sólo que persistan ideas previas no científicas sino que incluso se reafirmen y generalicen. Algunas de esas condiciones son:

-Contextualizar claramente los modelos analógicos dentro de procesos de investigación escolar, recalando la necesidad de su utilización debida a los condicionantes antes mencionados y las limitaciones, a veces enormes, que presentan.

-Establecer su uso como diseños de contrastación de las hipótesis que hayan podido surgir después de una detenida reflexión sobre los problemas planteados.

-Distinguir muy claramente las analogías entre el modelo y el proceso geológico que quiere investigarse, determinando qué variables geológicas reales representan cada una de las utilizadas en el modelo y con qué fenómenos geológicos reales tendrían relación los que se observan durante la puesta en práctica del modelo, haciendo continuas referencias a aquellos.

-Incidir en la extrapolación de los resultados y conclusiones, favoreciendo así la generalización de las mismas.

-Realizar actividades de síntesis y de aplicación en contextos geológicos reales diferentes.

-Resaltar insistentemente la variable temporal, recalando que, si no se trata de eventos geológicos, la duración de los procesos es muy grande. Se sugiere plantear actividades relacionadas con cálculo de edades absolutas de materiales o procesos. En caso contrario se corre el peligro de reafirmar las concepciones “cortas” del tiempo geológico y catastrofistas de los procesos.

LOS MODELOS ANALÓGICOS Y EL ORIGEN DE LOS MATERIALES TERRESTRES.

Ideas previas sobre el origen de los materiales terrestres.

Los trabajos de investigación sobre ideas previas en geología son bastante más escasos que en otras disciplinas científicas; no obstante, el origen de los materiales terrestres es uno de los temas más tratados en esos trabajos.

Las principales conclusiones que pueden extraerse de las consultas realizadas son:

Respecto a las *rocas*:

-La percepción de que las rocas no tienen por qué tener un origen: “Las rocas siempre han estado ahí”.

-La visión estática del mundo y de los materiales que lo constituyen: “Las rocas no cambian”.

-Las visiones más dinámicas tienen propensión al catastrofismo: “Los terremotos y los volcanes tienen un enorme poder petrogenético”.

-La tendencia generalizada a olvidar los procesos internos (plutonismo y metamorfismo).

-Cuando citan un origen éste es exógeno: sedimentario o volcánico.

-En el origen sedimentario, el agente más citado es el viento.

-No suele haber referencias a la diagénesis ya que los cambios físico-químicos son poco evidentes; tienen, a veces, una visión “mágica” de la litificación: “Se ha petrificado”.

-El origen volcánico es el más evidente, lo que reafirma la perspectiva catastrofista.

Respecto a los *fósiles*:

-Normalmente están superadas las visiones animista (origen inorgánico) y creacionista (origen único y simultáneo por creación divina); persisten, sin embargo, las catastrofistas (catastrofismo precientífico).

-Identifican fósil con resto orgánico como sucedía con los científicos renacentistas que estudiaron fósiles muy recientes.

-No se perciben las transformaciones físico-químicas que ocurren durante el proceso de fosilización.

-También en este caso se dan interpretaciones “mágicas” para la formación de fósiles de forma análoga a como en el Renacimiento se hablaba de la “virtus lapidifica” para explicar dicho origen.

Respecto al *tiempo* de duración de los procesos:

-Tienen una percepción a escala humana del tiempo geológico, de forma que son capaces de entender los eventos geológicos y no tanto los procesos de larga duración.

A la vista de estas ideas previas, extraemos las siguientes conclusiones didácticas para favorecer la construcción de conceptos relativos a la formación de rocas y fósiles:

-Hay que potenciar el cambio de una visión estática a otra dinámica; esto permitirá evidenciar que las rocas y fósiles han tenido y tienen un origen.

-Hay que tratar de superar el catastrofismo incidiendo en la dilatada duración de la mayoría de los procesos geológicos.

-Hay que incidir en la sedimentación en medios no eólicos, sobre todo en medios acuosos que además son mayoritarios.

-Hay que insistir en procesos como la diagénesis y los cambios físico-químicos durante la fosilización para superar las interpretaciones “mágicas” de la formación de rocas y fósiles.

Consideraciones metodológicas.

Para construir estos conceptos no es suficiente una estrategia transmisiva sino que son necesarias otras que favorezcan el cambio metodológico necesario para que se pueda producir el conceptual.

Nuestra propuesta se basa en la investigación escolar a través del tratamiento y resolución de pro-



blemas, estrategia que resulta muy fructífera para producir aprendizaje significativo.

Los modelos analógicos se llevarían a cabo como diseños de contrastación de las hipótesis que surgiesen del análisis de los problemas planteados.

EJEMPLOS: LA FORMACIÓN DE ROCAS DETRÍTICAS Y DE FÓSILES.

Secuencia de aprendizaje

Pedrinaci (1993) especifica que para poder construir el concepto de fosilización hay que disponer de una *teoría de la sedimentación* que explique la simultaneidad de depósito de los sedimentos y los restos de seres vivos y una *teoría de la litificación* que permita comprender cómo un sedimento se transforma en roca sedimentaria y, por tanto, cómo un resto de ser vivo contenido en el sedimento se transforma en un fósil.

Estas ideas han sido el eje de la secuenciación en nuestros ejemplos: comenzamos con problemas relativos a la sedimentación para avanzar después hacia la litificación y terminar en la fosilización.

Los problemas que estructuran las actividades son dos que a su vez se subdividen en otros:

1. ¿CÓMO SE FORMAN LAS ROCAS SEDIMENTARIAS?

- ¿Por qué se presentan en estratos?
- ¿Cómo ha podido formarse la arenisca bajo el agua?
- SÍNTESIS: ¿Cómo se han originado las siguientes rocas: brecha, conglomerado, arcillolita, coquina, ...?

2. ¿CÓMO SE FORMAN LOS FÓSILES?

- ¿Cómo se han formado determinados fósiles recientes?
- ¿Cómo se ha formado este Ammonites (u otro fósil menos reciente)?
- SÍNTESIS: ¿Cómo se forman los fósiles?
- APLICACIÓN: ¿Cómo fosiliza un Dinosaurio?

PRIMER PROBLEMA:

¿CÓMO SE FORMAN LAS ROCAS SEDIMENTARIAS?

A-1. Análisis del problema y emisión de hipótesis:

Se presenta una serie de diapositivas en las que aparezcan claramente rocas sedimentarias -calizas, areniscas, lutitas- con la estratificación muy patente.

¿Por qué las rocas sedimentarias forman estratos?

Algunos alumnos opinan que se debe al depósito de "tierra" arrancada por los ríos en las montañas y depositados en zonas llanas, en los valles de los ríos; otros a que se depositan en el mar; otros a que los estratos están constituidos por sedimentos de diferente naturaleza ...

A-2. Contrastación de las hipótesis:

¿Cómo podríamos simular en el laboratorio esos fenómenos?

Se acuerda emplear "tierra" (se puede utilizar la arena de una obra cercana) y verterla en el fondo de un recipiente transparente (los envases grandes de plástico de refrescos con la parte superior cortada pueden servir).

Al echar en un recipiente vacío puñados de arena de diferentes colores y de grava no se observa que se formen estratos muy nítidos. Después de debatir sobre la experiencia suelen sugerir algunos que se ponga agua en la botella. Se echa entonces un puñado de arena de un determinado color; cuando se ha depositado, se vierte otro de color diferente y así varias veces; ahora sí aparecen capas paralelas (Foto nº1).



Foto nº 1: Formación de capas sedimentarias paralelas tras el vertido de puñados de arena en un recipiente con agua.

Se repite la operación pero ahora con puñados del mismo tipo de arena. Si la arena no está muy seleccionada y tiene granos de diferentes tamaños también se producen capas al seleccionarse los granos por tamaños; se forma una estratificación graduada.

A-3. Conclusiones y generalización:

La sedimentación bajo el agua produce estratos. Las superficies de estratificación se originan por interrupciones en la sedimentación y separan niveles de diferente naturaleza, color, tamaño de grano de los sedimentos o tiempo de sedimentación.

En este momento conviene recordar que hemos realizado una simulación con modelos analógicos y para que relacionen la experiencia con fenómenos reales se les hacen preguntas que lo faciliten:

- ¿De dónde sale la "tierra"?
- ¿Quién vierte los puñados de arena en la naturaleza?
- ¿Qué hace de recipiente?

Si previamente se ha estudiado -como es nuestro caso- la meteorización, la erosión y el transporte, el alumnado deduce que la meteorización disgrega las rocas y las reblandece y que esos materiales



suelos son transportados luego por los ríos en forma de cantos rodados y partículas en suspensión.

-¿Y en los lugares donde no hay ríos?

El viento o el hielo son también agentes de erosión y de transporte.

Los materiales transportados se depositan cuando no hay suficiente energía para transportarlos más.

A-4. Planteamiento de un nuevo problema y emisión de hipótesis:

El proceso de formación de una roca no termina con la sedimentación de un material suelto y empapado de agua en el fondo del mar o de un lago. Se observan muestras de arenisca sólida y competente similar a las que se han visto en las diapositivas y se plantea el problema:

¿Cómo se han podido formar estas rocas a partir de arena suelta bajo el agua?

Algunos opinan que se ha perdido agua, otros que se ha compactado. Generalmente la cementación no suele aparecer en alumnado de 14 años aunque sí en niveles superiores (17 y 18 años). Para ello es necesario observar las muestras de arenisca con lupa binocular; con un aumento suficiente se observan los granos unidos por una especie de “pegamento”; se les hace ver que actúa como cemento entre los granos. Se deben utilizar muestras que presenten un buen contraste entre el cemento (generalmente calcáreo) y los granos (frecuentemente de cuarzo cristalino) para facilitar la visualización.

A-5. Contrastación de las hipótesis:

¿Cómo podríamos simular esos procesos en el laboratorio?

Se sugiere por parte del profesor utilizar una jeringa de plástico con la boquilla cortada, en el interior de la cual se vierte un poco de arena con agua; se introduce el émbolo y se comprime fuertemente contra el dedo pulgar de la otra mano hasta que suelte el agua (Foto nº 2).



Foto nº 2: Compactación de la muestra de arena con agua al presionar con el émbolo de una jeringuilla con la boquilla cortada.

Se obtiene así un cilindro arenoso que se deja secar y se compara con la muestra de arenisca. El desmoronamiento que se produce del cilindro nos indica que para obtener la roca no es suficiente la compactación y desecación producidas, hace falta cemento.

¿Cómo producir “cemento” en el laboratorio?

La escayola da muy buen resultado. Se repite la misma experiencia anterior pero introduciendo en la jeringa una mezcla formada con dos cucharadas de arena, una de escayola y dos de agua. El cilindro obtenido se deja secar unos minutos y se observa con la lupa binocular. En este caso ya sí se obtiene un gran parecido con la arenisca original.

A-6. Conclusiones y generalización:

Tres cosas han ocurrido con los granos de arena:

- Han sido comprimidos por el émbolo.
- Se han unido con el cemento.
- Se ha producido la desecación de la muestra.

¿Cómo puede ocurrir esto en la naturaleza?

Aquí suelen necesitar la ayuda del profesor.

-La presión que ejerce el émbolo y que produce la compactación de la arena es producida en la naturaleza por el peso de todo lo que reposa sobre el sedimento: otras capas de sedimentos depositadas más tarde y la propia agua del mar o lago donde se ha producido el depósito.

-El agua se va escapando durante el proceso igual que en la jeringa. Consecuentemente a la pérdida de agua se produce una disminución en el volumen (espesor) del sedimento.

-El cemento procede de sustancias disueltas en dicha agua que no escapan con ella sino que rodean los granos y los unen.

A este conjunto de procesos se le llama litificación o diagénesis y mediante él un sedimento se transforma en roca sedimentaria.

A-7. Síntesis: Un ejemplo podría ser:

“Escribid una frase que exprese en su orden cronológico lo que ocurre con los siguientes conceptos: roca sedimentaria, transporte, roca preexistente, río, sedimentación, meteorización, litificación, erosión, estratos, lago o mar, sedimento”.

A-8. Actividades de aplicación:

Se presenta una serie de muestras de rocas sedimentarias distintas a las areniscas pero igualmente formadas por granos cementados entre sí -arcillolita, coquina (arenisca constituida mayoritariamente por fragmentos de conchas), brecha y conglomerado- y se les pide que expliquen cómo se han originado.

Si las actividades anteriores han producido aprendizaje significativo, las respuestas deben explicar el origen de estas rocas de manera análoga al de las areniscas, mediante sedimentación y litificación -compactación, cementación y desecación- posterior. Se les debe animar a reproducir su génesis en el laboratorio.



Consideramos necesario en este momento del desarrollo de las actividades introducir algunas relacionadas con la velocidad de sedimentación, para que reflexionen sobre la lentitud de los procesos considerados hasta ahora. En relación con esa velocidad de acumulación deben inferir que la presión litostática necesaria para la compactación tampoco se alcanza rápidamente.

En cuanto a la cementación, alguna referencia a la velocidad de crecimiento de concreciones calcáreas - estalactitas o estalagmitas- resulta de gran utilidad.

SEGUNDO PROBLEMA:

¿CÓMO SE FORMAN LOS FÓSILES?

Ya se ha visto que las rocas sedimentarias se identifican por las siguientes características:

- Están formadas por capas denominadas estratos.
- La mayoría están integradas por granos unidos entre sí por cemento.
- A veces presentan fragmentos de seres vivos, generalmente conchas, o están formadas íntegramente por ellas. En este último caso hablamos de fósiles.

A-9. *Planteamiento del problema y emisión de hipótesis:*

Se les muestra una serie de conchas fósiles dentro de una arenisca y se les pregunta:

¿Cómo se han formado?

Generalmente responden, como se ha indicado anteriormente, que “son conchas que se han transformado en piedra”. Algunos dicen que “se han pegado a la piedra con algún cemento como el que une los granos”.

A-10. *Contrastación de las hipótesis:*

Se les indica que la “piedra” es en realidad la roca (arenisca) que envuelve la concha y que ésta se parece mucho a otras actuales, para lo que se les enseñan conchas recogidas en una playa.

Se les invita ahora a realizar la siguiente experiencia:

Poned una capa de mezcla seca (1 parte de escayola y otra de arena) en un recipiente de plástico (un bote de yogurt vacío o una tarrina vacía de margarina pueden servir); impregnad con aceite unas conchas y colocadlas sobre la capa de mezcla; añadid ahora una segunda capa de mezcla como la primera sobre las conchas; salpicad suavemente con agua la superficie de la mezcla y esperad hasta que se haya endurecido. A continuación rompéd la “roca” con cuidado hasta encontrar los “fósiles” (Foto n° 3)

A-11. *Conclusiones y generalización:*

En esta experiencia las conchas han quedado enterradas entre dos capas de mezcla que después se han endurecido.

En la naturaleza los fósiles aparecen entre los sedimentos porque, al morir los organismos, sus



Foto n° 3: Obtención artificial de “fósiles” recientes. Obsérvese el parecido con fósiles reales (delante en la foto).

conchas caen al fondo del lago o del mar donde vivían, donde ya hay sedimentos, y son cubiertas por nuevos sedimentos; el conjunto sufre después la litificación. La concha apenas ha sufrido transformaciones (excepto pérdida de coloración). Naturalmente, la diagénesis se ha trabajado con anterioridad como se ha indicado en la primera parte de este trabajo.

A-12. *Elaboración de réplicas:*

Se les presenta ahora a los alumnos un ejemplar de Ammonites totalmente “petrificado”. Al preguntarles por su origen, en general les resulta muy difícil emitir hipótesis coherentes al respecto, si no son las vagas respuestas indicadas anteriormente; por ello, recomendamos realizar la siguiente experiencia antes de plantear el problema de su origen:

Amasad un bloque de plastilina para elaborar un molde de unos dos centímetros de espesor y una superficie algo mayor que el objeto con el que vamos a trabajar; éste puede ser cualquiera: una concha, un hueso, una ramita, o el mismo fósil. En el primer caso -la concha- se reproduce más fielmente lo que ocurre en la naturaleza, aunque en el último -el fósil- los resultados son más espectaculares. Hay que tener cuidado de no hacerlo con fósiles delicados o demasiado valiosos porque se pueden romper al manipularlos.

Presionad con el objeto el molde de plastilina hasta que quede suficientemente hundido en ella y extraedlo luego con cuidado (Foto n° 4).



Foto n° 4: Obtención del molde en plastilina a partir de un molusco.



Poned dos centímetros de altura de agua en un bote de yogurt vacío y añadid poco a poco escayola, sin dejar de remover, hasta que la mezcla adquiera la consistencia del yogurt original.

Untad de aceite con un pincel la huella impresa en el molde de plastilina, verted con cuidado la escayola fluida (Foto nº 5) hasta que la cubra totalmente y esperad a que fragüe; generalmente a los 20 minutos se puede retirar la reproducción de escayola de la plastilina.



Foto nº 5: Vertido de escayola fluida sobre el molde de plastilina, previamente impregnado de aceite, para obtener la réplica del molusco.

Una vez elaboradas las réplicas, quedan más bonitas si los alumnos se las llevan a casa y las colorean con acuarela, témpera o similares, intentando siempre que se parezcan lo más posible a los originales (Fotos nº 6 y 7).



Fotos nº 6 y 7: Original y réplica coloreada de un Ammonites. La dificultad de distinción entre ambos se salva al darles la vuelta.

A-13. Conclusiones y generalización:

Ahora se debe conectar la experiencia con la formación real del fósil y para ello conviene que los alumnos y alumnas comparen la réplica elaborada con el fósil original. Responder a la pregunta ¿Cómo se habrá formado el fósil? es responder, en cierto modo, a cómo se han producido en la naturaleza los procesos que hemos llevado a cabo en el laboratorio.

Las respuestas suelen ser bastante cercanas a las que la Ciencia da en la actualidad para este fenómeno: el animal muere, queda enterrado por sedimentos, posteriormente se disuelve la concha y el agua que circula por los poros del sedimento pasa a través del hueco que va siendo rellenado poco a poco por depósitos de cemento que deja ese agua (aquí hay que ayudarles generalmente) hasta que se produce una réplica de ese cemento mineral similar a la conseguida en el laboratorio.

Trabajar con unos dibujos referidos a estos procesos ayudan a entenderlos (Fig.1).

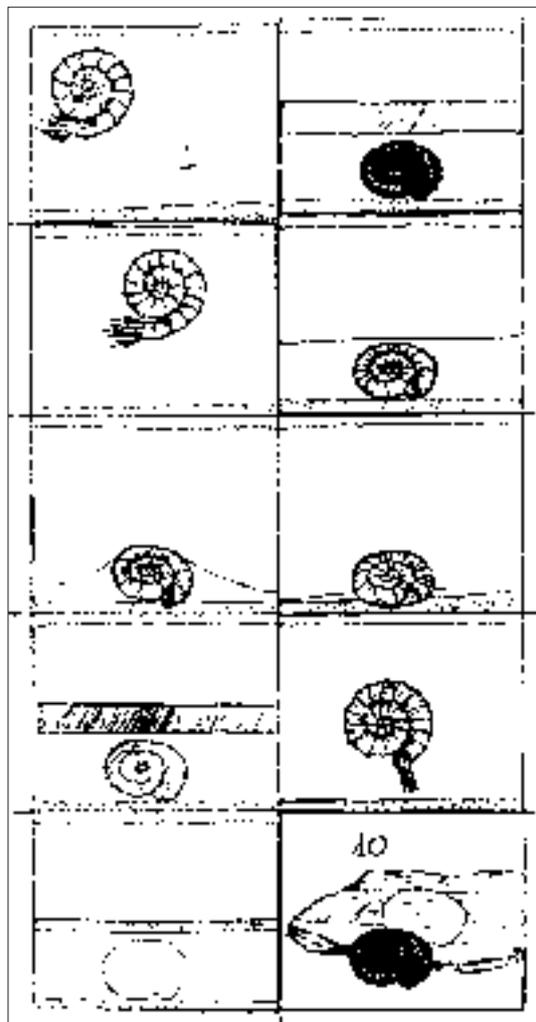


Figura 1: Fosilización de un Ammonites. Ordenar las viñetas, en orden cronológico, mediante la numeración correspondiente. Se indican las situaciones primera y última (números 1 y 10). Modificada de "VV. AA. (1992) Exploring Earth Sciences. Northamptonshire Ed. U.K.".



A-14. Actividad de síntesis respecto a la fosilización:

Como resumen se trabaja algún texto que incluya los principales conceptos tratados -fósil y procesos de fosilización- y algunos otros nuevos que se consideren de interés y fácil construcción a partir de aquellos.

En este momento del desarrollo de las actividades se reflexiona sobre el hecho de que fosilización y litificación son dos procesos sincrónicos y se les recuerda la lentitud de todos ellos.

A-15. Actividad de aplicación

Se puede preguntar a los alumnos y alumnas:

¿Cómo fosiliza un Dinosaurio?

Una dificultad que suele aparecer es que al no ser animales acuáticos piensan que difícilmente pueden fosilizar; se les debe ayudar con dibujos en los que aparezcan medios acuáticos continentales como un río, pantano, delta o lago bajo cuyas aguas se produzca la sedimentación necesaria para el enterramiento del Dinosaurio muerto.

BIBLIOGRAFÍA

- Álvarez, R.M. (1994). De los trabajos prácticos tradicionales a la actividad investigativa. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 2 (2 y 3), pp. 361-372.
- Astolfi, J.P. (1991). Quelques logiques de construction d'une séquence d'apprentissage en sciences. L'exemple de la géologie à l'école élémentaire. *Aster* 13, pp. 157-186.
- Atherton, M.; Robinson, R. (1981). *Study the earth. Unit 3: Rocks and earth history*. Hodder and Stoughton Ltd. Sevenoaks. Kent.
- Caballer, M.J. (1985). Detección de preconcepciones: una experiencia realizada en el primer curso de BUP. *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. extra, pp. 36.
- Caballer, M.J., Giménez, I. y Madrid, A. (1993). Utilización de problemas en la enseñanza de la Geología. Dinámica litosférica: primer nivel de acercamiento. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 1 (1), pp. 33-36
- Cubero, R. (1994). Concepciones alternativas, preconcepciones, errores conceptuales, ... ¿distinta terminología y un mismo significado? *Investigación en la Escuela* 23, pp. 33-42.
- Farndon, J. (1992). *How the Earth works*. Dorling Kindersley Ltd. London. (Trad. (1992) *La Tierra en tus manos*. Encuentro Editorial S.A. Barcelona).
- Furió, C.J. (1996). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique* 7, pp. 7-17.
- García, J.E. y García, F.F. (1989). *Aprender investigando*. Díada. Sevilla.
- Garret, R.M. (1995). Resolver problemas en la enseñanza de las Ciencias. *Alambique* 5, pp. 6-15.
- Gómez Porter, J. (1994). Las rocas: de las definiciones en los libros a las respuestas de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. Volumen extra VIII Simposio sobre la Enseñanza de la Geología, pp. 140-145.
- Granda, A. (1988). Esquemas conceptuales previos de los alumnos en Geología. *Enseñanza de las Ciencias* 6 (3), pp. 239-243.
- Happs, J.C. (1984). *The utility of Alternative knowledge Frameworks in effecting Conceptual Change: some examples from the Earth Sciences*. Thesis. University of Waikato. Hamilton, New Zealand.
- Happs, J.C. (1985). Regression in learning outcomes: some examples from the earth sciences. *European Journal of Science Education* 7 (4), pp. 431-443.
- Lillo, J. (1992). Representaciones de los alumnos de EGB sobre los conceptos mineral y roca. *III Congreso Geológico de España*. Salamanca vol. 1, pp. 412-421.
- Lillo, J. (1994). Análisis de errores conceptuales en geología a partir de las expresiones gráficas de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (1), pp. 39-44.
- Pedrinaci, E. (1987). Representaciones de los alumnos sobre los cambios geológicos. *Investigación en la Escuela*, 2, pp. 65-74.
- Pedrinaci, E. (1992). Catastrofismo versus Actualismo. Implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 10 (2), pp. 216-222.
- Pedrinaci, E. (1996). Sobre la persistencia o no de las ideas del alumnado en geología. *Alambique* 7, pp. 27-36.
- Pedrinaci, E. y Álvarez R.M. (1992). Obstáculos en la construcción de las nociones acerca del origen de las rocas. *Actas del VII Simposio sobre la Enseñanza de la Geología*. Santiago de Compostela, pp. 173-184.
- Pedrinaci, E. y Berjillos, P. (1994). El concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2 (1), pp. 240-251.
- Pozo, J.I. (1996). Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a dónde van ... y mientras tanto qué hacemos con ellas. *Alambique* 7, pp. 18-26.
- V.V. A.A. (1995). *Dinosaurs. Teacher's notes*. Natural History Museum. London.
- V.V. A.A. (1986) *Fossils. Activity book*. The Natural History Museum. London.
- V.V. A.A. (1992) *Exploring Earth Science*. Northamptonshire Ed. ■

