

Evolución de los modelos mentales sobre fosilización tras el proceso de enseñanza-aprendizaje

Raquel Gómez Loarces

*Centro de Enseñanza Secundaria Ramón y Cajal, Cañaverál, s/n. Granada. España. rgloarces@gmail.com
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2188-4402>*

Gracia Fernández Ferrer

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias de la Educación, Campus Cartuja, s/n. Granada. España. gferfer@ugr.es
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3530-8553>*

Francisco González García

*Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Facultad de Ciencias de la Educación, Campus Cartuja, s/n. Granada. España. pagoga@ugr.es
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9515-9038>*

[Recibido: 28 Mayo 2018. Revisado: 6 Diciembre 2018. Aceptado: 28 Enero 2019]

Resumen: Se muestra un estudio de la evolución de los modelos mentales sobre fosilización tras el proceso de enseñanza y aprendizaje en alumnado de 4º curso de Educación Secundaria. Se hace uso de estrategias de enseñanza diferentes, como el discurso de la profesora, argumentación en gran grupo, visionado de videos, lectura de textos y utilización de recursos TIC. Para analizar los modelos mentales de los estudiantes, previos y posteriores a la secuencia de enseñanza se tienen en cuenta tres variables, los procesos geológicos que intervienen, el espacio o ambiente geológico donde se desarrollan y el tiempo geológico. Como resultado, observamos que existe dificultad por parte del alumnado para integrar el proceso de mineralización de la materia orgánica o asociar el proceso a un ambiente sedimentario concreto. Al mismo tiempo se observan ideas erróneas paralelas a estudios previos, en relación a considerar el tiempo como un factor de fosilización, así como el asincronismo de la génesis de las rocas y de los fósiles que contienen.

Palabras clave: Fosilización; Modelos mentales; Proceso geológico; Suceso geológico; Tiempo geológico.

Evolution of mental models on fossilization after the teaching and learning process

Abstract: It shows a study of the evolution of mental models on fossilization after the teaching and learning process in students of 4th year of Secondary Education. Different teaching strategies are used, such as the teacher's speech, argumentation in a large group, viewing videos, reading texts and using ICT resources. To analyze the mental models of the students, before and after the teaching sequence, three variables are taken into account: the geological processes involved, the space or geological environment where they are developed, and the geological time. As a result, we observed that there is difficulty on the part of the students to integrate the mineralization process of the organic matter or to associate the process with a concrete sedimentary environment. At the same time wrong ideas parallel to previous studies are observed, in relation to considering time as a factor of fossilization, as well as the asynchronism of the genesis of rocks and fossils they contain.

Keywords: Mental models; Fossilization; Geological event; Geological time; Geological process.

Para citar este artículo: Loarces R. G., Ferrer G. F., García F. G. (2019) Evolución de los modelos mentales sobre fosilización tras el proceso de enseñanza-aprendizaje. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(2), 2102 doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i2.2102

Introducción

La modelización del pensamiento causal utiliza los modelos mentales de la psicología computacional como instrumento de representación del conocimiento (Oliva 1999; Acevedo-Díaz *et al.* 2017). Un modelo mental es una representación interna, cognitiva, de situaciones,

hechos, objetos y conceptos que corresponde, análogamente al estado de cosas que se están representando, sea cual sea el mismo (Johnson-Laird, 1983; 1993). Por lo general, dicho modelo es consistente o resistente al cambio, independientemente de que sea incompleto o contradiga la ciencia escolar (Reinfried y Tempelmann 2014). Según Moreira *et al.* (2002) evolucionará de forma natural por la interacción con el entorno, modificándose hasta que tiene una funcionalidad satisfactoria. Es en este proceso de modificación donde la educación formal debe interactuar para favorecer un cambio de modelo mental cada vez más acorde con el científicamente aceptado.

Parece evidente que el estudio de los modelos mentales sobre diferentes fenómenos naturales, previos y posteriores a un proceso de enseñanza y aprendizaje nos puede arrojar datos sobre la eficacia del mismo y sobre las variables que pueden intervenir en su desarrollo, para en su caso, mejorar la intervención educativa. No obstante, este análisis no está exento de dificultades. Por un lado, el significativo problema de estudiar con claridad y validez qué modelo mental posee el alumnado sobre un determinado fenómeno, situación, hecho u objeto, y por otro, determinar qué estrategias de aprendizaje son las más favorables para provocar el cambio satisfactorio de modelo.

Al plantearnos el estudio de los modelos mentales del alumnado nos encontramos, a su vez, con dos tipos de dificultades. Por un lado, encontramos dilemas metodológicos e instrumentales y, por otro, incertidumbres para determinar las variables que permitan la definición de los diferentes modelos y consiguiente estudio del cambio tras el proceso de enseñanza y aprendizaje.

En relación a la primera dificultad, Rodríguez (1997) pone de relieve la importancia de dar un enfoque más interpretativo o cualitativo a las investigaciones, conjuntamente a utilizar diversos instrumentos de recogida de datos a la hora de detectar tales modelos. Por su parte, Márquez y Bach (2007) consideran que tales instrumentos deben favorecer algún sistema de representación, como lenguaje verbal-oral o escrito, visual, matemático o gestual.

En cuanto a la problemática sobre la determinación de parámetros que permitan definir el modelo y consiguiente estudio del cambio, tras la inmersión del alumnado en un proceso de enseñanza y aprendizaje, consideramos de interés hacer un análisis del significado epistemológico del fenómeno, situación, hecho u objeto a estudiar. En concreto en las ciencias geológicas la unidad elemental de estudio es el suceso geológico definido por tres parámetros, procesos, tiempo y ambiente geológico (Lillo y Redonet 1985). La evidencia de la existencia de un suceso geológico y de sus características, queda registrado en los materiales terrestres, minerales, rocas y fósiles, de cuyo estudio podemos obtener datos para interpretar la historia y funcionamiento del planeta Tierra.

El análisis del ambiente físico propicio para la formación de los fósiles nos lleva a determinar una serie de factores biológicos y geológicos. Entre los biológicos destacamos que por lo general no fosilizan los seres vivos desprovistos de partes esqueléticas duras. Por su parte, entre los geológicos destacamos, por ejemplo, el requerimiento de que la acumulación de restos orgánicos se realice en un área sedimentaria, además de otros factores, como una adecuada velocidad de sedimentación para que cubra el resto antes de que se destruya, o que los sedimentos sean de tal naturaleza que permitan la conservación (Meléndez 1990).

En cuanto al proceso de fosilización, en este trabajo vamos a considerar, tanto en el análisis de los modelos mentales como en el proceso de enseñanza y aprendizaje, tres subprocesos consecutivos: Tanatocenosis, Tafocenosis y Fosilización *sensu stricto*. El primer término, Tanatocenosis se refiere a la acumulación y reunión de cadáveres procedentes de una Biocenosis o asociación de animales o vegetales existentes en un biotopo. La Tafocenosis

comprende el depósito en un área de sedimentación, probablemente previo a un transporte hidrodinámico. Por último, lo que denominaremos Fosilización *sensu stricto*, en la cual hay una serie de transformaciones químicas que reemplazan los compuestos orgánicos por minerales, como calcita, sílice, pirita, etc. Para una información más profunda del proceso de fosilización remitimos al lector a la obra de Meléndez (1998).

Por último, en cuanto al tiempo geológico, si consultamos la definición de tiempo que hace la Real Academia Española, encontramos que lo define como: la duración de las cosas sujetas a mudanza, y también como la magnitud física que permite ordenar la secuencia de los sucesos, estableciendo un pasado, un presente y un futuro, y cuya unidad en el sistema internacional es el segundo. Es imposible pues la separación entre el concepto de tiempo y el de cambio, no existiendo el primero sin el segundo. Por su parte, Pedrinaci y Berjillos (1994) refiriéndose al concepto de tiempo geológico, distingue cuatro nociones básicas para poder entender el mismo: el cambio geológico, las facies, la sucesión causal y cronología. De este modo, comprobamos que hablar de tiempo en geología requiere de la huella en el registro geológico de los sucesos geológicos, pudiendo diferenciarse entre un tiempo relativo y absoluto.

Existe un creciente cuerpo de investigación sobre cómo enfocar la comprensión del tiempo geológico en la enseñanza, que abarca desde los niveles elementales de la educación básica al nivel universitario y profesores tanto en formación como en ejercicio (ej. Trend 2001; Dodick y Orion 2003; Libarkin *et al.* 2007; Marques *et al.* 2017). Estos estudios muestran que no solo muchos estudiantes de enseñanza obligatoria y universidad, sino incluso profesores en formación y en ejercicio, tiene un pobre sentido del cambio geológicos e identifican erróneamente eventos en el tiempo geológico por órdenes de magnitud, confundiendo eventos ampliamente separados en el tiempo como son la existencia de los humanos y los dinosaurios.

En la bibliografía de Didáctica de las Ciencias se encuentran diferentes estudios que arrojan datos sobre los errores conceptuales derivados del modelo mental del proceso de fosilización. Dicho proceso ha recreado dificultades de entendimiento a lo largo de la historia del pensamiento científico, y de modo paralelo a como ocurre en otros temas, también se presentan en los estudiantes de diferentes edades (Wandersee 1986). De este modo, Francek (2013) considera que entre los conceptos geocientíficos erróneos se encuentra la génesis de los fósiles. Por su parte, Lillo (1995) a partir de dibujos secuenciales estudió las ideas del alumnado de 10 a 15 años sobre el proceso de fosilización. Como resultado obtuvo, entre los errores conceptuales más difundidos, la exclusión en el proceso de las transformaciones que ocurren desde el enterramiento hasta que se forma el fósil.

Otros estudios muestran dificultades, como la no sincronización de la fosilización y de la génesis de las rocas que contienen a los fósiles, además de considerar que esas rocas son tan antiguas como el planeta Tierra (Happs 1984). A lo anterior se le añade la implicación de la variable tiempo geológico, que es considerada como elemento causal y adquiere un poder mágico capaz de explicar, por sí sola, los procesos geológicos como los que nos ocupan (Pedrinaci y Berjillos, 1994).

Entre las estrategias didácticas aportadas por la bibliografía para tratar la temática de los fósiles encontramos una extensa diversidad. Entre estas destacamos el uso de la Historia de las Ciencias (Borrego *et al.* 1996), el uso de modelos analógicos (Álvarez y De la Torre, 1996), las visitas a parques temáticos como Dinópolis (Cobos *et al.* 2002) o a museos como el Geominero de España en Madrid (Rábano y Rodrigo 2001; Rodrigo *et al.* 2008), las salidas de campo para realizar estudios bioestratigráficos y paleoecológicos (Rodríguez y Durán, 2001), el uso de la palinología para reconstruir la vegetación del pasado (Ruiz *et al.* 2009), algunos

juegos didácticos (Gil 1996; Fernández y Suárez 1998) o análisis de icnitas de dinosaurios (García Ramos *et al.* 2001).

En algunas experiencias didácticas se recoge la elaboración artificial de fósiles con moldes (Calonge *et al.* 2003; López y Ramírez 2001) o las recogidas en libros de texto de Primaria y Secundaria, como el modelado en yeso con bivalvos u hojas, que según Hwang *et al.* (2009) puede llevar al alumnado a la idea de que los fósiles son equivalentes siempre a huellas fósiles y no a fósiles corporales.

Por otro lado, en Didáctica de las Ciencias ha cobrado especial importancia la argumentación, que es definida por Driver *et al.* (2000) como proceso por el que se da una razón a favor o en contra de una proposición o línea de acción. En esta línea hay un importante número de trabajos que la focalizan como herramienta fundamental para la construcción de comprensiones más significativas de los conceptos abordados en el aula (Pérez y Pozo 1994; Jiménez 2001; Márquez 2005; Ruiz *et al.* 2015).

En la misma línea de interés dentro de la Didáctica encontramos la conversación y la interacción en el aula como instrumentos fundamentales en el proceso de enseñanza y aprendizaje, de tal modo que las preguntas que el profesor plantea son básicas en la gestión del diálogo en el aula, así como en el fomento de la participación e implicación del alumnado (Márquez y Roca 2009). En este sentido, los debates y discusiones en pequeños y gran grupo, son un medio eficaz para facilitar la construcción de sentido sobre los conceptos y con ello la transferencia consciente de los mismos a contextos externos al aula (Ruiz *et al.* 2015). A lo anterior, se añade el uso de materiales que permiten establecer lazos entre el mundo académico y el real, como textos escritos, imágenes o vídeos (Márquez 2010).

El objetivo de la investigación que mostramos es estudiar la evolución de los modelos mentales, desde un momento previo a otro posterior a la puesta en práctica de una secuencia didáctica, enmarcada en el paradigma constructivista, detectando posibles dificultades y con ello plantear propuestas de mejora. A su vez, planteamos una parrilla de análisis con las variables que pueden entrar en juego a la hora de analizar cualquier suceso geológico.

Metodología

La muestra estuvo formada por 57 alumnos y alumnas de 4º de Educación Secundaria Obligatoria del IES Santo Tomás de Villanueva (Granada), dividida en dos grupos de 28 y 29, a los que llamaremos grupo A y B, respectivamente. Ambos grupos los consideramos homogéneos en cuanto a interés positivo hacia las tareas escolares, no destacando ningún alumno/a con problemas de aprendizaje.

Una misma profesora que impartía la asignatura de Biología y Geología aplicó una misma secuencia de enseñanza y aprendizaje a cada uno de los grupos durante tres sesiones de una hora. Los contenidos tratados fueron los fósiles y proceso de fosilización.

La secuencia aplicada estuvo contextualizada en el paradigma constructivista, siguió las fases del proceso de enseñanza y aprendizaje recogidas por Verdú y Varcárcel (1992): 1ª fase de motivación e información, 2ª fase contenido, 3ª fase práctica y 4ª fase de transferencia. En la primera fase de motivación e información nos centramos en la toma de contacto del proceso de fosilización, pretendiendo despertar el interés del alumnado y activar sus esquemas de conocimiento previos. En la segunda fase de contenido nos centramos en la comprensión de los procesos implicados en la fosilización (Tanatocenos, Tafocenos y Fosilización *sensu stricto*), los ambientes geológicos apropiados y en el tiempo requerido, haciendo enlaces conscientes con lo que el alumnado ya conoce.

En las dos primeras fases descritas, la profesora planteó cuestiones que se resolvieron en pequeños grupos, dejando constancia escrita de las mismas, para posteriormente ponerlas en común en gran grupo y dar la posibilidad a la discusión y revisión de puntos de vista diferentes, así como a la creación de contenido científico. Las cuestiones se caracterizaron por ser abiertas y con ello, dar posibilidad para que produzcan conocimiento, desarrollen la creatividad, favorezcan la participación e implicación del alumnado. Algunas de estas cuestiones son: ¿crees que es fácil convertirse en fósil? ¿qué piensas que es necesario para que se produzca la fosilización? ¿cuántos años crees que hace falta para convertirse en fósil un organismo? ¿cuál crees que será el mejor ambiente geológico para que se produzca la fosilización? Por otro lado, para favorecer la contextualización de las cuestiones se utilizaron recursos como lecturas o videos, que permiten relacionar lo que el alumnado ya conocía con la realidad mostrada (ver Tabla 1).

En cuanto a las dos últimas fases, práctica y transferencia, se plantean actividades para que el alumnado pueda reforzar y expresar lo aprendido. De este modo, en la tercera fase de práctica se plantean dos actividades al alumnado. Una denominada “Aprendiz de paleontólogo” donde utilizando una clave dicotómica clasificará diferentes ejemplares de fósiles, y la otra el seguimiento de una WebQuest denominada “Prueba de acceso a Jurassic Park”. Para finalizar, el alumnado crea un producto final en pequeños grupos consistente en el diseño de murales alusivos al proceso de fosilización y posterior exposición oral de los mismos.

En la secuencia descrita se aplican las habilidades de pensamiento de la taxonomía de Bloom modificada (Anderson y Krathwoht 2001), de tal modo que partiendo de habilidades de pensamiento de orden menor (recordar y comprender) se va progresando a lo largo del proceso de enseñanza y aprendizaje hacia otras de orden mayor (evaluar y crear). La relación entre las fases, habilidades de pensamiento, actividades y enlaces a los recursos utilizados se recoge en la Tabla 1.

Tabla 1. Fases del proceso de enseñanza y aprendizaje, habilidades de pensamiento (según taxonomía de Bloom modificada), actividades y enlaces a los recursos utilizados en la metodología activa.

Fases	Habilidades de pensamiento	Actividades	Enlaces a los recursos utilizados
Motivación	Recordar	Lectura comprensiva	El País: Se vende animal extinto por un euro
Contenido	Comprender	Visionado de videos: -Gea y los fósiles -Eras Geológicas	https://www.youtube.com/watch?v=SjPj3auwxfm&feature=youtu.be https://www.youtube.com/watch?v=tudchAumpB0
Práctica	Aplicar Evaluar	Clasificación de fósiles con clave dicotómica: “Aprendiz de paleontólogo”	http://www.juntadeandalucia.es/averroes/centros-tic/11701140/helvia/aula/archivos/repositorio/1000/1105/html/practica1_bge4.pdf
		Uso de las TIC Web Quest “Prueba de acceso a Jurassic Park”	http://www.webquestcreator2.com/majwq/ver/ver/45435
Transferencia	Crear	Diseño de murales y exposición oral	

Para el estudio de los modelos mentales sobre fosilización y su evolución, la profesora aplicó al alumnado de sendos grupos, un mismo cuestionario previo y posterior con las actividades que se muestran a continuación:

-Actividad 1. Representación gráfica del proceso de fosilización para lo que se le plantea lo siguiente: “Dibuja un fósil y cómo se forma. Pon etiquetas verbales para darle nombre a los procesos formadores y elementos necesarios para la formación”.

-Actividad 2. Explicación escrita del proceso: “Describe el proceso que has dibujado en el ejercicio anterior”.

-Actividad 3. Contesta a las siguientes cuestiones:

- a. ¿Dónde se han podido formar los fósiles?
- b. ¿Cuánto tiempo es necesario para la formación de un fósil?
- c. ¿Cuál crees que se formó antes, la roca o el fósil?

En el análisis de las respuestas nos centramos en la observación de tres variables, procesos, tiempo y ambiente geológicos, que coinciden con los tres parámetros que permiten definir un suceso geológico. Por su parte, la actividad 1 y 2 nos aportó datos sobre las tres variables y con ello pudimos definir los diferentes modelos mentales encontrados. La variable procesos hace referencia a los tres sucesos que dan lugar a un fósil, categorizándola en este trabajo en Tanatocenos, Tafocenos y Fosilización *sensu stricto*. En cuanto a las variables tiempo y ambiente geológico se categorizaron teniendo en cuenta su posible inclusión y la terminología utilizada para referirse a las mismas, tanto en las respuestas gráficas como verbales. A su vez, las actividades 3a y 3b inciden directamente en cuestiones auxiliares que pueden completar la identificación del modelo mental del alumnado.

Un estudio de la parrilla de análisis nos arroja datos de posibles casos que no existirían en el caso que nos ocupa, sobre la génesis de los fósiles. Esto queda reflejado por ejemplo en los casos donde los estudiantes refieran los procesos de tafocenos y/o fosilización *sensu stricto* en sus respuestas, lo que dejaría implícito que tienen asumido el concepto de ambiente geológico de formación que en este caso sería un ambiente sedimentario. De igual modo, al referir únicamente el proceso de tanatocenos implícitamente indicaría que no utilizan un ambiente geológico. Por tanto, se derivan seis modelos posibles, de los que en el modelo Tipo 1, 2 y 3, no utilizan el tiempo geológico para definirlos, mientras que los otros tres sí (Tipo 4, 5 y 6). Por su parte, los modelos Tipo 1 y 4 no hacen mención a un ambiente sedimentario de formación de los fósiles, introduciendo únicamente el proceso de muerte de la biocenosis (tanatocenos). Los modelos Tipo 2 y 5 sí introducen la necesidad de un ambiente sedimentario, al igual que los Tipo 3 y 6, que a su vez tratarían el proceso de fosilización *sensu stricto* (Tabla 2).

Tabla 2. Diferentes modelos obtenidos de combinar las posibilidades que brindan las variables procesos de fosilización, ambiente sedimentario y tiempo geológico.

	Tanatocenos	Tafocenos	Fosilización <i>sensu stricto</i>
	Sin ambiente sedimentario	Con ambiente sedimentario	
Sin tiempo geológico	Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Con tiempo geológico	Tipo 4	Tipo 5	Tipo 6

Por último, consideramos de interés retomar la dificultad de entender el proceso de fosilización de modo sincrónico al de formación de la roca que lo contenga, por lo que se introdujo la cuestión 3c.

Para comprobar si la secuencia de enseñanza y aprendizaje provocó un cambio significativo entre el momento previo y posterior al mismo, se aplicó la prueba estadística Chi cuadrado.

Resultados

En la exposición de resultados se describen los modelos mentales encontrados en el alumnado de ambos grupos, tanto previa como posterior a la puesta en práctica de las secuencias de enseñanza y aprendizaje, y teniendo en cuenta las respuestas a las actividades 1, 2, 3a y 3b. Como se ha comentado anteriormente, en la definición de los modelos mentales se tienen en cuenta el análisis de las tres variables: tiempo, ambiente y procesos geológicos. Por último, analizamos la actividad 3c para conocer si el alumnado sincroniza la formación de la roca con la fosilización.

Al analizar los resultados, tanto previos como posteriores a la secuencia de enseñanza y aprendizaje y en ambos grupos, observamos que todos los estudiantes utilizan la variable tiempo en sus dibujos y/o en sus contestaciones a las actividades planteadas, tanto previa como posteriormente a la aplicación de las secuencias de aprendizaje. Esta unanimidad de utilización de la variable en todos los estudiantes ha permitido que la consideremos en este trabajo como una constante y, por tanto, eliminemos los modelos Tipo 1, 2 y 3 en la descripción de los resultados.

Por otro lado, es destacable la terminología utilizada para referirse al tiempo en cuanto a variabilidad, encontrando expresiones que van desde mucho tiempo, muchos años, miles de años y millones de años, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre el momento previo y posterior a la aplicación de la secuencia de enseñanza y aprendizaje, ni entre ambos grupos, tal y como arroja la aplicación de la prueba Chi cuadrado.

Para la definición de los modelos detectados, y que para este trabajo se concretan en el Tipo 4, 5 y 6, tanto en el momento previo como posterior a la secuencia educativa, como para ambos grupos de estudios, ponemos un ejemplo de cada uno de ellos con un diagrama ejemplo (figura 1, 2 y 3) y las explicaciones extraídas de las contestaciones a las cuestiones.

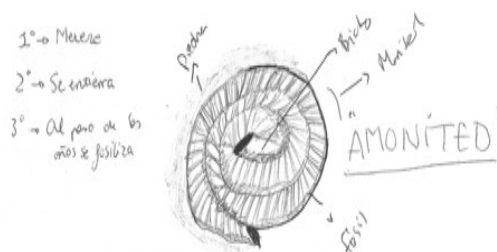


Figura 1. Caracterización del modelo mental Tipo 4, que integra el proceso de Tanatocenos, además del tiempo geológico.

El modelo Tipo 4 recoge únicamente el proceso de Tanatocenos y tiempo geológico, no mencionando el ambiente geológico de génesis, viene definido en el ejemplo de la figura 1. Reseñamos en el mismo que, aunque el estudiante incorpore el enterramiento tras la muerte, no menciona el proceso de sedimentación, por lo que lo clasificamos en el Tipo 4 y no en el Tipo 5. Asimismo, refiere la condición de que la roca se haya formado antes de que el animal muera. La transcripción de las contestaciones a las cuestiones es la siguiente: *Primero se muere, 2º se entierra, 3º se descompone y 4º se fosiliza; Se forma en la tierra; Hace millones de años; Se forma primero la roca; Pueden formarse a la vez la roca y el fósil.*



Figura 2. Caracterización del modelo mental Tipo 5 (Bbb) que integra los procesos de Tanatocenos y Tafocenos, además del tiempo geológico.

En el modelo Tipo 5 los estudiantes ya incorporan el proceso de sedimentación de modo explícito, aunque en el ejemplo de la figura 2 observamos que dicho proceso no está claro que también se relacione con la génesis de la roca, al afirmar que la misma se formó primero. No obstante, posteriormente afirma que pueden formarse a la vez, el fósil y la roca. Se detecta de este modo cierta confusión y resistencia a la necesidad de una roca preexistente. La transcripción de este caso es la que sigue: *Lo he descrito arriba. También se da con una huella el mismo proceso. Se forma en el subsuelo marítimo porque son conchas. Hace millones de años. La roca se forma primero. Puede formarse a la vez la roca y el fósil.*

Por último, el modelo Tipo 6 integra la Tanatocenos, la Tafocenos y la Fosilización *sensu stricto*, siendo este último proceso el que completaría la secuencia introduciendo procesos de mineralización. El ejemplo de la figura 3 recoge estos tres procesos, incluso indica que el organismo puede mineralizarse o disolverse, quedando su molde. Por su parte, y aunque refleje los tres procesos, no está exento de mostrar ideas erróneas. Se sigue insistiendo en la necesidad de que la roca ya exista, no asociándola a la sedimentación, como en la mayoría de los casos estudiados. La transcripción es la siguiente: *El organismo muere, los sedimentos lo cubren y luego el organismo queda mineralizado o el organismo se disuelve, se forma molde del organismo; El fósil se forma en las rocas; Hace uno millones de años; La roca se forma antes que el fósil porque la roca ya existe; No se pueden formar a la vez el fósil y la roca.*

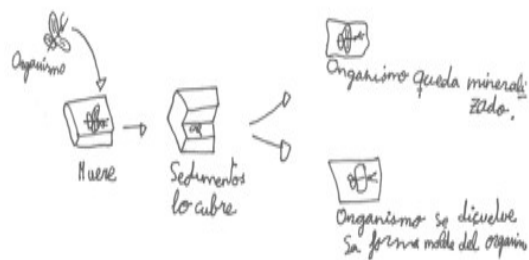


Figura 3. Caracterización del modelo mental Tipo 6 que integra los procesos de Tanatocenos, Tafocenos y Fosilización *sensu stricto*, además del tiempo geológico.

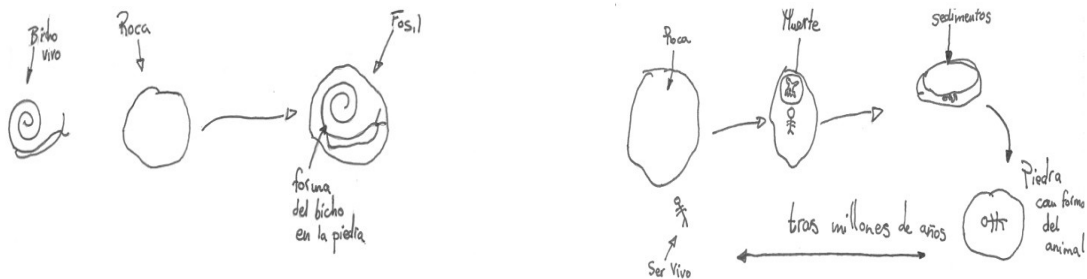


Figura 4. Caracterización de la evolución del modelo mental tipo 4 previo al proceso de enseñanza y aprendizaje (izquierda) al tipo 5 posterior al mismo (derecha) .

En relación a la evolución del modelo mental con el proceso de enseñanza y aprendizaje mostramos la modificación desde el tipo 4 a 5 de un caso donde se detectan las dificultades de entendimiento y errores conceptuales, como el mencionado anteriormente, de la necesaria génesis pionera de la roca, no asociándola a la sedimentación. En el momento previo al aprendizaje define el proceso de fosilización como: *Un bicho vivo muere encima de una piedra y al cabo de los años se queda la forma del bicho muerto en la piedra.* Tras el proceso de enseñanza su modelo evoluciona al tipo 5 definiendo el proceso como: *Un ser vivo muere encima de una roca, tras el paso del tiempo le caen sedimentos encima y con el paso de los años el ser se descompone y se queda la forma en la piedra y a eso se le llama fósil; Se forma en el mar; Hace millones de años; Se forma primero la roca; No puede formarse a la vez la roca y el fósil.* La figura 4 muestra los dibujos realizados en sendos momentos.

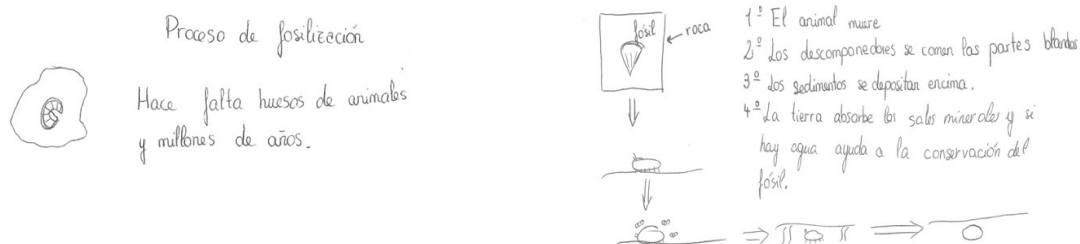


Figura 5. Caracterización de la evolución del modelo mental tipo 4 previo al proceso de enseñanza y aprendizaje (izquierda) al tipo 6 posterior al mismo (derecha) .

Otro ejemplo de un caso que evoluciona desde el Tipo 4 previo al proceso de enseñanza hasta el Tipo 6 es el mostrado gráficamente en la figura 5. A su vez en la explicación escrita recogida para explicar el modelo Tipo 4 expone que los individuos, en este caso sólo animales, se quedan incrustados en rocas preexistentes, siento su transcripción la que sigue: *Los animales mueren, se descomponen y se quedan en las piedras; se quedan incrustados en las rocas; hace millones de años; se forman en el mar; se forma primero la roca y luego el fósil que se quedó incrustado; no se pueden haber formado el fósil y la roca a la vez.* Tras el proceso de enseñanza-aprendizaje este caso pasa a un modelo Tipo 6 en el que introduce la sedimentación e intervención de intercambio de sales minerales, así como, la sincronización del proceso de génesis de la roca con la fosilización, tal y como se muestra a continuación: *1º El animal muere, 2º los descomponedores se comen las partes blandas, 3º los sedimentos se depositan encima, 4º la tierra absorbe las sales minerales y si hay agua ayuda a la conservación del fósil; Se forma en el océano o en la tierra; hace millones de años, tras la muerte de este; se forman a la vez, la roca y el fósil.*

La frecuencia de uso de los diferentes modelos mentales detectados previamente y posteriormente en los dos grupos viene recogida en la tabla 3.

Tabla 3. Frecuencia observada de los modelos mentales en los grupos A y B previa y posteriormente a la aplicación de la secuencia de aprendizaje.

Modelos Mentales	Tipo 4 (Tanatocenos; Sin ambiente sedimentario; Con tiempo)		Tipo 5 (Tafocenos; Con ambiente sedimentario; Con tiempo)		Tipo 6 (Tafocenos y Fosilización sensu stricto; Con ambiente sedimentario; Con tiempo)	
	Previo	Posterior	Previo	Posterior	Previo	Posterior
Momento educativo						
Grupo A	17	7	10	10	1	11
Grupo B	15	5	12	14	2	10
Total	32	12	22	24	3	21

Para comprobar si entre los dos grupos de estudio había diferencias significativas en cuanto a mostrar un modelo mental u otro, previamente a la aplicación de la secuencia de aprendizaje, se aplicó la prueba estadística Chi cuadrado. Como resultado se obtuvo el valor de 0,623 para dos grados de libertad, lo que permita constatar que entre ambos existía homogeneidad de respuestas. Del mismo modo, también se aplicó la prueba Chi cuadrado para comprobar si tras la aplicación de la secuencia de enseñanza-aprendizaje había cambios en la evolución de los modelos mentales entre el alumnado de ambos grupos, obteniéndose el valor de 1,030 para

dos grados de libertad, lo que permitió constatar que no hay diferencias estadísticamente significativas, ejerciendo el mismo efecto en ambos.

Por su parte, al aplicar dicha prueba posteriormente al proceso de enseñanza y aprendizaje, para comprobar si los cambios producidos son debidos al mismo ejerciendo una significativa influencia, se obtuvo un valor de 17,208 para 4 grados de libertad. Ello nos lleva a confirmar que la secuencia didáctica aplicada provocaron cambios significativos en la evolución de los modelos mentales del alumnado de ambos grupos.

En cuanto a la cuestión relativa a qué se formó primero, si la roca o el fósil, o si tienen una génesis común, se observa en un importante número de contestaciones que existe una necesaria formación de la roca previamente al fósil. Otros hacen referencia a que el fósil se generó antes que la roca que lo contiene, mientras que escasos casos hacen referencia a una génesis común. La tabla 4 recoge las frecuencias observadas en ambos grupos para la cuestión: ¿Cuál crees que se formó primero? Es destacable que previamente a la secuencia la mayoría del alumnado considera que se forma antes la roca que el fósil, habiendo algunos casos que consideran que es el fósil y, otros pocos, a la vez. Por su parte, el efecto de la experiencia educativa se aprecia al detectar que la mayoría del alumnado cambia sus ideas previas considerando que se forman a la vez.

Tabla 4. Frecuencia de respuestas previo y posteriormente a la secuencia didáctica para el grupo A y B sobre la génesis conjunta o separada de la roca y/o fósil.

	Ninguno		Roca		Fósil		A la vez	
	Previo	Posterior	Previo	Posterior	Previo	Posterior	Previo	Posterior
GRUPO A	3	0	20	4	3	2	2	22
GRUPO B	1	0	20	3	4	2	4	24
Total	4	0	40	7	7	4	6	46

El hecho de que tras el proceso educativo se observe una migración importante hacia la consideración de una génesis común entre la roca y el fósil, queda confirmado de modo estadísticamente significativo al aplicar la prueba Chi cuadrado y obtener un valor de 17, 593 para 6 grados de libertad, lo que nos indica una influencia positiva de las secuencias de enseñanza y aprendizaje. Del mismo modo, al estudiar las posibles diferencias entre ambos grupos, obtenemos un valor de 1,793 para 3 grados de libertad, lo que nos permite concluir que estadísticamente no existen diferencias entre ambos en el proceso de aprendizaje de este concepto.

Otras ideas detectadas, sobre todo en el estudio previo al proceso de enseñanza y aprendizaje, son la de considerar la erosión como agente fosilizador: “Una concha se desplaza a una roca, y cuando la roca está siendo erosionada coge la forma de la concha. Este proceso dura millones de años”; la de correlacionar la fosilización con la extinción como condición necesaria: “El pez empezó a extinguirse y conforme van pasando los años se ha formado el fósil”; o la necesidad de impresión en una roca preexistente: “Cuando un ser vivo muere, su cuerpo se deposita en una roca blanda, como arcilla, y la roca se moldea, después se seca y el cuerpo se descompone”.

Discusión e implicaciones para la enseñanza

Con el presente estudio se ha constatado la necesidad de utilizar diferentes técnicas de recogida de datos, como dibujos secuenciales, descripciones escritas y respuesta a cuestiones abiertas, en las que se pongan en práctica diferentes sistemas de representación, para salvar las dificultades de detectar los modelos mentales. La triangulación de los datos extraídos de las diferentes técnicas es la que ha favorecido este proceso, observándose que, con un uso de

técnicas aisladas, sin la confluencia de las otras, así como la puesta en práctica de un modelo interpretativo y cualitativo, no sería posible detectar los modelos mentales.

En este estudio se ha puesto en práctica el análisis de los modelos mentales de los estudiantes sobre el proceso de fosilización a partir de una parrilla basada en los tres parámetros que definen un suceso geológico, procesos, tiempo y ambiente. Consideramos que este procedimiento puede extrapolarse al estudio de otros registros geológicos, como las rocas o los minerales, incluso a procesos desarrollados en un tiempo y ambiente geológico determinado. Entendemos que un análisis aislado, sin la confluencia del resto de parámetros desvirtúa el entendimiento de cualquier aspecto de las ciencias geológicas.

El estudio de la evolución de los modelos mentales con las secuencias de enseñanza y aprendizaje nos aporta el conocimiento de las dificultades que tiene el alumnado, y con ello, nos permite implementar propuestas de mejora educativa. De este modo podemos realizar una aproximación al concepto de modelo conceptual y de modelización, de forma similar a como se trabaja en la propia investigación científica (Moreira *et al.* 2002). En el caso que nos ocupa, observamos que es fundamental asociar la génesis de los fósiles a un ambiente geológico, en concreto el sedimentario, e insistir en la sincronización con la pretrogénesis, profundizando en los procesos diagenéticos y de mineralización de los restos orgánicos.

En cuanto al tiempo geológico el uso de terminología variada nos plantea el interrogante de si el alumnado tiene una idea acertada del mismo. Existe un creciente cuerpo de investigación sobre cómo enfocar la comprensión del tiempo geológico en la enseñanza (Ej. Dodick y Orion, 2003; Libarkin *et al.* 2007; Marques *et al.* 2017). Estos estudios muestran que no solo muchos estudiantes de enseñanza obligatoria y universidad, sino incluso profesores en formación y en ejercicio, tienen dificultades para entenderlo.

La evidente escasez de modelos mentales observados que integren los procesos de mineralización, puede deberse a que tales cometidos requieren de un nivel de abstracción alto, y con ello la implicación de habilidades de pensamiento más complejas que quizá en las secuencias didácticas planteadas en este trabajo hemos podido eludir. Es por ello, que consideramos de interés plantear tareas centradas en el contexto para ayudar al desarrollo de los modelos (Muñoz-Campos *et al.*, 2018), además, de dedicar más tiempo en el aula a comprender estos conceptos.

Por otro lado, destacamos el interés que suscita el estudio de los modelos mentales, pero aún más si centramos las investigaciones en la evolución de los mismos con propuestas didácticas concretas. En este sentido, sería necesaria la participación activa en las investigaciones futuras de los docentes en ejercicio, pudiendo valerse de la investigación-acción para mejorar su propia práctica, a la par de aportar a la Didáctica de las Ciencias elementos claves para seguir avanzando en su cuerpo teórico.

Por último, abrimos un interrogante en relación a cómo podemos conocer la evolución de modelos mentales, que más allá de aspectos conceptuales, integren además procedimientos y actitudes, como integrantes de la conocimiento competencial al que debemos dirigirnos. En la actualidad, se pretende que el alumno adquiera habilidades para *saber hacer*, lo que requiere de la interrelación de los aspectos conceptuales, procesuales y actitudinales del conocimiento. En futuras investigaciones se podría profundizar en cómo evaluar procedimientos y actitudes y, sobre todo qué metodologías son las más apropiadas para ello.

Referencias bibliográficas

- Acevedo-Díaz, J.A, García-Carmona, A., Aragón-Méndez, M, M., y Oliva-Martínez, J.M. (2017). Modelos científicos: significado y papel en la práctica científica. *Revista Científica*, 30 (3), 155-166
- Álvarez R. M. y García de la Torre E. (1996) Los modelos analógicos en Geología: implicaciones didácticas. Ejemplos relacionados con el origen de materiales terrestres. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 4 (2), 133-139.
- Anderson L.W. y Krathwohl D. (Eds.) (2001) *A Taxonomy for Learning, Teaching and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. Longman, New York.
- Borrego M. J., García R., Guede B., Menéndez E. y Pacheco F. (1996) La utilización de la Historia de la Ciencia para trabajar problemas relacionados con los fósiles. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 4 (1), 46-52.
- Calonge A., Bercial M. T., García-Sánchez J. y Carrillo L. (2003) El uso didáctico de los fósiles en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra. *Pulso. Revista de Educación* 26, 117-128.
- Cobos A., Royo-torres R. y Alcalá L. (2002) Dinópolis: utilización didáctica de un recurso científico. *Actas del XII Simposio sobre la Enseñanza de la Geología*, Girona 107-111.
- Dodick J. y Orion N. (2003) Cognitive factors affecting student understanding of geologic time. *Journal of research in science teaching* 40 (4), 415-442.
- Driver R., Newton P. y Osborne J. (2000) Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education* 84, 287-312.
- Fernández E. M. y Suárez J. L. (1998) Pon un fósil en tu vida ¡y sácale partido! (propuesta de recurso para el aprovechamiento didáctico de los fósiles). *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 6 (2), 138-144.
- Francek M. (2013) A Compilation and Review of over 500 Geoscience Misconceptions. *International Journal of Science Education* 35 (1), 31-64.
- García-Ramos J. C., Piñuela L. y Lires, J. (2001) Método de estudio de icnitas de dinosaurios y su interpretación. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 9 (2), 154-159.
- Gil S. (1996) Los juegos didácticos de la asignatura Paleontología. Un eslabón en el proceso de aprendizaje de los estudiantes. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 4 (3), 224-226.
- Happs J.C. (1984) The utility of alternative knowledge frameworks in effecting conceptual change: some examples from the Earth Sciences. *Hamilton*, Nueva Zelanda: University of Waikato.
- Hwang K. G., Cho K. S. y Huh M. (2009) Understanding on the Fossilization of Middle School Students. *Journal of the Korean earth science society* 30 (3), 305-316.
- Jiménez M.P. (2001) Discurso de aula y argumentación en la clase de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias, núm. extra VI Congreso* 61-62.
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P. N. (1993). *Human and machine thinking*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Libarkin J. C.; Kurdziel J. P. y Anderson S. W. (2007) College student conceptions of geological time and the disconnect between ordering and scale. *Journal of Geoscience Education* 55 (5), 413-422.

- Lillo J. (1995) Ideas de los alumnos y obstáculos epistemológicos en la construcción de los conceptos fósil y fosilización. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 3 (3), 149-153.
- Lillo J. y Redonet L.F. (1985). *Didáctica de las Ciencias Naturales*. T. I. Editorial Ecir.
- López P. y Ramírez M. D. (2001). Taller: ¿Qué es un fósil? *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 9 (2), 190-193.
- Marques L., Rebelo D., Bonito, J., Morgado, M., Trindade, V., Medina, J. y Futuro, A. (2017) El lugar de la investigación-formación-innovación en la didáctica de las Ciencias de la Tierra: El caso del tiempo geológico. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 25 (3), 319-329.
- Márquez, C. (2005). Aprender ciencias a través del lenguaje. *Educación*, abril-junio, 27-38.
- Márquez C. (2010). Favorecer la argumentación a partir de la lectura de textos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales* 63, 39-49.
- Márquez C. y J. Bach (2007) Una propuesta de análisis de las representaciones de los alumnos sobre el ciclo del agua. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 15(3), 280-286.
- Márquez C. y Roca M. (2009) Plantear preguntas: un punto de partida para aprender ciencias. *Revista Educación y pedagogía*, 1 (45), 61-71.
- Meléndez B. (1990) La Paleontología y los fósiles, pp. 9-43 en Melendez B. (ed.), *Paleontología: Mamíferos* 3 (1). Madrid. Editorial Paraninfo.
- Meléndez B. (1998) *Tratado de paleontología*. Madrid. Editorial CSIC Press.
- Moreira M. A.; Greca I. M. y Rodríguez M. L. (2002) Modelos Mentales y Modelos Conceptuales en la Enseñanza & Aprendizaje de las Ciencias. *Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências*, 2(3), pp. 84-96.
- Muñoz-Campos, V., Franco-Mariscal, A. J., & Blanco-López, Á. (2018). Modelos mentales de estudiantes de educación secundaria sobre la transformación de la leche en yogur. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(2), 2106.
- Oliva J. (1999) Algunas reflexiones sobre las concepciones alternativas y el cambio conceptual. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(1), pp. 93-107.
- Pedrinaci E. y Berjillos P. (1994) Concepto de tiempo geológico: orientaciones para su tratamiento en la educación secundaria. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 2 (1), 240-251.
- Pérez M.P. y Pozo J.I. (1994) Aprender a resolver problemas y resolver problemas para aprender, en Pozo J.I. (ed.), *Solución de problemas*. Madrid. Santillana
- Rábano I. y Rodrigo A. (2001) El Museo Geominero: un recurso didáctico para la enseñanza de la paleontología. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 9 (2), 183-189.
- Reinfried S. y Tempelmann S. (2014) The impact of secondary school students' preconceptions on the evolution of their mental models of the greenhouse effect and global warming. *International Journal of Science Education*, 36 (2), 304-333.
- Rodrigo A., Lozano R. P. y Baeza E. (2008) Talleres didácticos en el Museo Geominero (IGME, Madrid): Identificación de fósiles, minerales y rocas. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 16 (1), 92-98.
- Rodríguez M. (1997) Revisión bibliográfica relativa a la enseñanza/aprendizaje de la estructura y del funcionamiento celular. *Investigações em Ensino de Ciências*, 2 (2), 123-14.

- Rodríguez P. A. y Durán J. E. (2001) Investigación de la bioestratigrafía y de la paleoecología del Mesozoico: uso didáctico en bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra* 9 (1), 57-62.
- Ruiz F.J., Tamayo O., Alzate E. y Márquez C. (2015) La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. *Educ. Pesqui., São Paulo*, 41 (3), 629-646.
- Ruiz M. B., Gómez C., Gil, M. J., Andrés P. y Ruiz A. M. (2009) El polen fósil en la reconstrucción de la vegetación del pasado: una experiencia didáctica en el aula. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 17 (1), 67-77.
- Trend R. (1998) An investigation into understanding of geological time among 10 and 11 year old children. *International Journal of Science Education*, 20 (8), 973-988.
- Verdú M. y Varcárcel M. (1992) Tipología de actividades de enseñanza-aprendizaje. *El Guiniguada* (3), 433-456.
- Wandersee J. H. (1986) Can the History of Science help Science Educators Anticipate Students' Misconceptions? *Journal of Research in Science Teaching*, 23, 581-597.