



La coevolución de la Tierra y de la vida o cómo se han influido mutuamente la geología y la vida

José Antonio Pascual
IES El Escorial. Madrid

Las ciencias naturales iniciaron su proceso de especialización y disciplinariedad en el siglo XIX, lo que dio lugar a un alejamiento progresivo entre la geología y la biología. Algunas cuestiones comunes e interdependientes, entre las que está el origen y la evolución conjunta de la Tierra y de la vida, han sufrido con ello un cierto olvido que es importante reparar didácticamente, dada la gran importancia de estos temas en la formación de la cultura científica y, por ello, en la educación secundaria y particularmente en el bachillerato.

Palabras clave: origen y evolución, Tierra y vida, cultura científica.

The joint evolution of the earth and life or how geology and life have mutually influenced each other

The natural sciences began their process of specialisation and branching into different subjects in the 19th century, following a progressive distancing between geology and biology. As a result, some common and interdependent questions, including the origin and joint evolution of the earth and life, have been somewhat forgotten. This calls for a teaching response, given these subjects' key importance in creating a scientific culture and therefore in secondary and baccalaureate education.

Keywords: origin and evolution, earth and life, scientific culture.

■ La vida y la Tierra

Sólo conocemos vida en la Tierra. Su origen fue abordado por Oparin y Haldane de forma independiente en los años veinte, cuando ambos ofrecieron un enfoque similar sobre la «hoja de ruta» seguida. Los experimentos de Miller, ya en los cincuenta, reforzaron la propuesta de la síntesis prebiótica, pero la investigación permaneció en gran manera alejada de las cuestiones geológicas implicadas, más allá de la noción de unas charcas someras predispuestas a albergar el proceso, cosa que ya pensó Darwin, o la alusión genérica de Oparin a las aguas marinas como cuna de la vida. El descubrimiento de las chimeneas volcánicas de las dorsales reabrió mucho

más tarde el tema del enlace entre el origen de la vida y su ubicación geológica, un asunto que continúa aportando novedades (Bradley, 2010). Aunque las incertidumbres que lo rodean siguen siendo elevadas, el origen de la vida constituye un ámbito plenamente científico, con constantes avances y un indudable interés cultural y educativo (Peretó, 2009).

Posteriormente, la Tierra y la vida presentan una historia conjunta de efectos complejos de ida y vuelta, aún incompletamente desentrañados. Aunque es más inmediato contemplar los efectos de la dinámica terrestre sobre la evolución de la vida, no hay que olvidar que el proceso vital tiene consecuencias fundamentales sobre la dinámica terrestre. El más evidente

Aunque es más inmediato contemplar los efectos de la dinámica terrestre sobre la evolución de la vida, no hay que olvidar que el proceso vital tiene consecuencias fundamentales sobre la dinámica terrestre

puede ser la formación de una atmósfera oxidante; pero hay muchos más: desde los cambios en el albedo, la edafogénesis o la precipitación orgánica de carbonatos hasta la importancia de la actividad de los seres vivos en la génesis de buena parte de los minerales (Hazen, 2010).

geológicamente muy cortos (Pascual, 2001). Ahí, las interacciones de la vida con su medio geológico son manifiestas y muchas de las posibles causas son situaciones singulares, como la colisión de asteroides o una actividad volcánica particularmente intensa. Otros motivos son los procesos desencadenados por sucesos excepcionales, como la reducción de la transparencia atmosférica (y sus efectos sobre la fotosíntesis y la temperatura), variaciones en el albedo terrestre, etc. No hay duda de que en tales ocasiones la concatenación y sinergia de procesos, que implican cambios climáticos rápidos y consecuentes variaciones en la geografía de los ecosistemas, constituyen la clave final del desastre. En cualquier caso, la paleontología actual nos ofrece novedosas panorámicas sobre todo esto (Agustí, 2010).

■ La nueva concepción de los cambios

Darwin nos explicó el mecanismo por el que cambian las especies, una vez iniciada la vida en la Tierra. Especiación y extinción de especies son los dos instrumentos esenciales de dicho proceso, que, en las versiones iniciales de la teoría sintética de la evolución (tras la suma de la genética), se presentaba como básicamente gradual. Sin embargo, en las últimas décadas, tanto por el lado del cambio biológico como por el geológico, han resurgido con fuerza las opciones discontinuistas, que recuerdan de algún modo a tesis «catastrofistas». Ocurrió particularmente con el estudio de las extinciones masivas (Barberá, 2010), por contraposición a la extinción de fondo. Es un tema que reviste especial interés porque ahora estamos iniciando una de ellas, a causa de nuestra propia actividad.

Un vistazo a la variación de la biodiversidad a lo largo de la historia de la Tierra, representada en las famosas gráficas de Raup y Sepkoski, incita a dirigir la atención en los episodios catastróficos en los que la cantidad de especies experimenta una reducción brusca en tiempos

En el otro lado de la balanza evolutiva (la especiación), las aportaciones de Gould y Eldredge sobre el equilibrio puntuado o las propuestas de cambio por endosimbiosis de Margulis, desembarazadas ambas de sus afirmaciones más radicales, presentan nuevos matices a una evolución que se pretendía continua y sosegada y que hoy se vislumbra más heterogénea y compleja de lo sospechado. Además, la importancia de la contingencia en la historia de los seres vivos, relacionada también con la movilidad de las placas, reviste una importancia crucial a la hora de comprender la biogeografía actual y la supervivencia o desaparición de taxones (como en los lémures y Madagascar o en el aislamiento australiano de casi todos los marsupiales). A todo ello hay que añadir los complejos procesos que van siendo desvelados por la biología evolutiva y la genética del desarrollo (la «evo-devo»), que añaden nuevos y sorprendentes matices al asunto evolutivo. También en este caso, las opciones más ortodoxas y rígidas de la síntesis neodarwinista han tenido que dejar cier-

to espacio a versiones más flexibles y múltiples, una vez que éstas también renunciaron a sus aspectos más maximalistas. Hoy las soluciones parecen decantarse más por la suma y la integración que por la sustitución.

También en la geología la visión más gradualista presenta retrocesos considerables. El mejor conocimiento de episodios «catastróficos», tanto actuales como pasados (como en Park y Schmincke, 2010), permite asentar una interpretación de los cambios que tiene poco que ver con las nociones más simples del viejo uniformismo gradualista.

Ambos enfoques «discontinuos» (biológico y geológico) vienen revestidos de nuevas acepciones y perspectivas que los hacen parientes, aunque no directos, de sus ancestros ideológicos. No se trata de una «vuelta de tortilla» que venga a cambiar los postulados gradualistas por nuevas opciones «saltacionistas», ni siquiera de un cambio de paradigma en sentido estricto, pero sí de una ampliación de los mecanismos actuantes y de una mayor complejidad a la hora de interpretarlos.

■ La reintegración de las ciencias naturales

La convergencia de las ciencias atmosféricas y del clima, de la oceanografía y de la geofísica con la geología es vista hoy como una necesidad ineludible para las ciencias de la Tierra. El interés en la comprensión de la dinámica de las capas fluidas, unido a la crisis ambiental y el cambio climático, ha llevado a tratar de conocer mejor la variación del clima y las corrientes oceánicas en el pasado, aspectos ligados a la formación de masas continentales y océanos (y, por tanto, a la tectónica de placas), así como a la distribución de la vida por ellos. Así, a la demanda que en 1968 realizaba Tuzo Wilson: «Debemos estudiar la Tierra como un todo, como un sistema único», cabe añadir

hoy el interés de incorporar la vida como un proceso esencial en la comprensión de la Tierra como planeta dinámico (Pascual, 2000).

La construcción de nuevas visiones científicas sobre la Tierra y la vida (Pascual, 2004) se enfrenta a la tarea de resolver las incertidumbres existentes sobre los tránsitos destacados en su coevolución. Para ello es preciso enfrentarse de nuevo a la eterna pregunta: ¿qué es la vida?

■ Nuevas concepciones sobre la vida

Desde la famosa aportación de Schrödinger, la definición de la vida se ha orientado de diversas maneras, entre las que destaca el enunciado «operativo» de Horowitz y Milller, adoptado por la NASA en su programa de exobiología, en el que se define la vida como un «sistema químico auto-mantenido capaz de experimentar evolución darwiniana». Otras propuestas proceden de las biología sistémica y sintética, con la formulación de conceptos como la *autopoiesis* (Maturana y Varela, 1994) o la *emergencia* (Luisi, 2010). En todas hay un distanciamiento de las visiones más reduccionistas, lo que exige el uso de sistemas jerárquicamente ordenados en niveles de organización. La vida se perfila así como una propiedad emergente que sólo aparece a partir de un determinado nivel estructural, circunstancia que ya hace tiempo reconoce implícitamente la teoría celular.

Un paso importante es la configuración de escalas jerarquizadas con niveles de organización. Para ello no hay tanto problema en los tramos infe-

Las opciones más ortodoxas y rígidas de la síntesis neodarwinista han tenido que dejar cierto espacio a versiones más flexibles y múltiples

riores (partículas subatómicas, átomos, moléculas simples) como en los medios (macromoléculas catalíticas, moléculas informacionales, virus, estructuras celulares, orgánulos...) o en los finales, ya dentro del ámbito de la ecología, donde aparecen retazos de «organismicismo» y hasta de «vitalismo» en las versiones más «duras» de la hipótesis o teoría «Gaia» (Kirchner, 1989).

■ Campos comunes y espacios por construir

Maynard Smith y Szathmáry (2001) resumieron en ocho «transiciones evolutivas principales» los hitos que caracterizan el paso de lo inorgánico a las escalas de mayor complejidad de la vida, concentrándose en los cambios en la forma en que se almacena y transmite la información que va de

una generación a otra (cuadro 1).

Se trata de un esquema sometido a revisión, pero didácticamente muy atractivo. Muchos de sus mecanismos explicativos se enfrentan todavía a una difícil decisión entre opciones alternativas. Ocurre con el «mundo del ARN prebiótico», defendido por muchos, pero con serias dificultades por la necesaria síntesis prebiótica de nucleótidos, aún desconocida. Sus oponentes, por lo general partidarios de la autopoiesis y los modelos «compartimentalistas», sostienen la preeminencia de la formación de compartimentos frente a la síntesis prebiótica de moléculas complejas en la supuesta «sopa primordial». También suscita debate el lugar de la síntesis prebiótica: charcas, arcillas, chimeneas hidrotermales, piritas, entornos fríos o calientes, etc.

Aunque queden muchos enigmas importantes por resolver, podemos decir que contamos ya con concepciones sólidas e ideas relevantes sobre el sentido de las incertidumbres, lo que permite compatibilizar el debate científico con su incorporación educativa para la formación de una cultura científica moderna.

■ La enseñanza coherente de la coevolución Tierra-vida

Aún nos queda otro reto complementario: el que afecta a la enseñanza y el aprendizaje. Las dificultades educativas de las «metateorías» de la tectónica de placas o la evolución biológica han sido analizadas por distintos autores. Sequeiros y

Las dificultades educativas de las «metateorías» de la tectónica de placas o la evolución biológica han sido analizadas por distintos autores

De	A
Moléculas replicantes.	Poblaciones de moléculas en compartimentos.
Replicadores independientes.	Cromosomas.
ARN como gen y enzima.	Genes de ADN y enzimas proteicos.
Células bacterianas (procariotas).	Células con endomembranas (eucariotas).
Clones asexuales.	Poblaciones sexuales.
Organismos unicelulares.	Organismos pluricelulares.
Individuos solitarios.	Colonias de individuos con castas no reproductivas.
Sociedades de primates no humanos.	Sociedades humanas con lenguaje.

Cuadro 1. Transiciones principales en la evolución (Maynard Smith y Szathmáry, 2001)

otros (1995) identificaron cuatro escenarios históricamente sucesivos y relevantes en cuanto a la evolución y la tectónica de placas. Son: un escenario creacionista, uno darwinista, otro wegeneriano y el de la tectónica de placas. Consideran útil y necesaria didácticamente esta secuencia, pero advierten sobre las dificultades cognitivas que presentan los diferentes tránsitos, en especial los de acceso al marco darwinista y el salto a la tectónica.

El mal acomodo que han encontrado en los currículos las interconexiones geo-biológicas ha afectado al tema del origen e historia de la Tierra (Pedrinaci, 2009). En dirección contraria, las Academias Nacionales de Estados Unidos se propusieron identificar las preguntas principales que se formula hoy la ciencia sobre la Tierra. Las cuestiones deberían presentar alguna o varias de las siguientes características: poseer un carácter interdisciplinar o supradisciplinar, abordar cuestiones «esenciales», como el origen de la Tierra y de la vida; o estar conectadas con fenómenos de efectos significativos sobre el bienestar humano.

El mal acomodo que han encontrado en los currículos las interconexiones geo-biológicas ha afectado al tema del origen e historia de la Tierra

Los resultados, en forma de diez preguntas básicas, se recogen en el cuadro 2 y constituyen otros tantos campos interdisciplinares esenciales para la cultura científica moderna y atractivos para su consideración en la educación secundaria.

Los grandes procesos relevantes en las interacciones Tierra-vida se pueden resumir en unos pocos acontecimientos generales y explicaciones científicas de gran interés educativo, que formarían el entramado básico de los contenidos curriculares que se deben considerar. Un posible esquema general se ve en el cuadro 3 (en la página siguiente).

Como parte de esta perspectiva, pueden identificarse

los múltiples efectos que la dinámica litosférica produce en la evolución de la biodiversidad al modificar los parámetros geográficos y ambientales que condicionan la selección natural. De nuevo, estos aspectos sintéticos podrían ser integrados en los currículos educativos de los últimos niveles de la educación secundaria. Un posible ejemplo de estas conexiones se muestra en el cuadro 4 en la página siguiente.

1. ¿Cómo se han formado la Tierra y los otros planetas?
2. ¿Qué sucedió en los primeros 500 millones de años de la Tierra? (Hadense: «edad oscura»)
3. ¿Cómo se formó la vida?
4. ¿Cómo funciona el interior de la Tierra y cómo afecta eso a su superficie?
5. ¿Por qué la Tierra tiene placas tectónicas y continentes?
6. ¿Cómo son determinados a largo plazo los procesos terrestres por las propiedades físico-químicas de los materiales?
7. ¿Qué causa cambios en el clima y cómo se producen?
8. ¿Cómo modela la geología de la Tierra a la vida y cómo influye la vida en la Tierra?
9. ¿Puede predecirse la ocurrencia de terremotos, erupciones volcánicas y sus consecuencias?
10. ¿Cómo afecta el movimiento y el transporte de las capas fluidas de la Tierra al medio ambiente humano?

Cuadro 2. Las diez cuestiones básicas para la comprensión de la Tierra y la evolución de la vida, identificadas por el Comité encargado por las Academias Nacionales de Estados Unidos

Grandes procesos	Acontecimientos y teorías
Origen y formación de la Tierra como planeta (composición).	<ul style="list-style-type: none"> • Evolución estelar, contracción nebular, discos de acreción. • Acreción de planetesimales. • Composición de meteoritos y cometas. • Bombardeo pesado tardío (calor y aporte de materia).
Constitución básica de la estructura terrestre.	<ul style="list-style-type: none"> • Diferenciación por densidades. • Origen de la Luna. • Catástrofe del hierro. • Desgasificación (atmósfera). • Formación de la corteza sólida (primeras rocas). • Formación de la hidrosfera.
Conformación de una Tierra habitada.	<ul style="list-style-type: none"> • Dinamismo del manto: movilidad continental, formación y destrucción de relieves (tectónica de placas). • Origen de la vida (evolución prebiótica): moléculas orgánicas en compartimentos, catálisis e información genética. • Consecuencias planetarias del metabolismo fotosintético (atmósfera oxidante y secuestro de dióxido del carbono por la litosfera). • Evolución celular (endosimbiosis). • Invención de la sexualidad ligada a la reproducción (evolución darwiniana). • Pluricelularidad.
Evolución de las especies, dinamismo y cambio geológico y homeostasis global.	<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismo de selección natural y otros procesos evolutivos. • Grandes procesos de circulación y movimiento de las capas fluidas y cambios en el tiempo. • Cambios climáticos (externos e internos). • Dinamismo geológico y variación geográfica de la Tierra. • Extinciones de fondo y catastróficas (relaciones con clima, geología y procesos extraterrestres). • Acumulaciones puntuales de sustancias orgánicas en ambientes anóxicos: formación de trampas de petróleo y capas de rocas carbonáticas. • Evolución de la biodiversidad y biogeografía.
Aparición de la especie humana e influencia en el planeta (<i>gran parte de este apartado correspondería más bien al contenido de unas «ciencias ambientales»</i>).	<ul style="list-style-type: none"> • Origen y evolución de homínidos. • Expansión de Homo sapiens y etapas cazadoras-recolectoras. • Aparición de la agricultura, la ganadería y las sociedades sedentarias: culturas neolíticas. • Sociedades industrializadas modernas: pérdida de la sostenibilidad ambiental mundial (crisis ambiental).

Cuadro 3. Grandes procesos, acontecimientos y teorías relevantes en la relación Tierra-vida



Procesos litosféricos debidos a la tectónica de placas	Acontecimientos causados	Posibles relaciones con la evolución de la vida y la biodiversidad
Rifting y fragmentación continental.	<ul style="list-style-type: none"> • Separación de territorios. • Posibles cambios climáticos locales. • Volcanismo y lagos en valles en rift. • Aparición de cuencas marinas incipientes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oportunidades de especiación alopátrida. • Aparición de nuevos ambientes y ecosistemas (origen de los homínidos). • Separación de territorios y ecosistemas anteriores.
Extensión de cuencas oceánicas (dorsales).	<ul style="list-style-type: none"> • Liberación de energía en las chimeneas hidrotermales. • Ampliación de medios marinos. • Distanciamiento creciente entre masas continentales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Creación de ecosistemas desconectados de la energía solar (¿Posible origen de la vida?). • Ampliación de ecosistemas marinos y ambientes pelágicos y abisales. • Oportunidades de especiación alopátrida.
Colisión continental y límites destructivos de tipo andino.	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de relieves (grandes cordilleras). • Modificaciones micro y mesoclimáticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de ecosistemas (por variación altitudinal de ambientes). • Posibles barreras de aislamiento geográfico (oportunidades de especiación alopátrida). • Posibles extinciones locales por volcanismo.
Arcos insulares volcánicos en límites destructivos.	<ul style="list-style-type: none"> • Islas volcánicas. • Formación de cuencas marginales. • Fosas. • Cambios climáticos locales. • Modificación de corrientes marinas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevos territorios insulares y oportunidades de colonización y especiación. • Cambios y nuevos ambientes en los ecosistemas marinos. • Posibles extinciones locales por actividad volcánica.
Puntos calientes.	<ul style="list-style-type: none"> • Islas volcánicas y volcanes continentales intraplaca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nuevos ecosistemas y oportunidades de colonización y especiación alopátrida. • Posibles extinciones locales por actividad volcánica.
Ascensos y descensos isostáticos y eustáticos (no sólo debidos a tectónica, pero también a ella, incluido el efecto de glaciación de la ubicación de algún continente sobre un área polar).	<ul style="list-style-type: none"> • Cambios en las líneas de costas. • Ampliación o reducción de las plataformas continentales. • Comunicación o aislamiento de tierras emergidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Oportunidades de especiación alopátrida por aislamiento. • Comunicación de faunas y floras antes aisladas (oportunidades y competitividad-extinciones). • Aparición y desaparición de ecosistemas litorales, costeros y marinos. • Posibles extinciones masivas.

Cuadro 4. Principales procesos litosféricos y sus posibles consecuencias en la biodiversidad

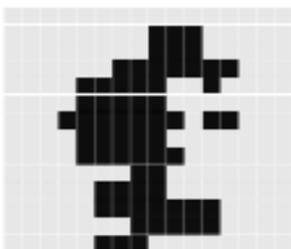
■ Consideración final

Tratar educativamente todo este amplio campo de cuestiones de forma coherente exigiría posiblemente disponer de un espacio concreto y suficiente para estudiar la coevolución Tierra-vida como forma de síntesis de los conocimientos biológicos y geológicos dentro de un esquema global. Para ello, habría que partir de un enfoque sistémico y dotarlo de una perspectiva temporal.

■ Otras sugerencias didácticas

El estudio conjunto de Tierra y vida, insistiendo en la coevolución y las constantes interacciones entre ambas, permite el tratamiento didáctico conjunto de los procesos geológicos y biológicos. A continuación se presenta un ejemplo apto (con variaciones) para diferentes niveles de secundaria y bachillerato. En él se tratan de relacionar algunas consecuencias de la tectónica de placas con la evolución biológica, teniendo en cuenta las interacciones mutuas.

Actividad 1: Distribución continental y efectos sobre biodiversidad



Mapa 1



Mapa 2

Los dos mapas recogen dos distribuciones de masas continentales emergidas (en negro) con la misma superficie continental en ambos casos (un 29% de la superficie total). Se trata de comparar los diferentes ambientes biogeográficos que pudieran albergar ecosistemas distintos, por ejemplo:

- Longitud (lados de los cuadrados) de las áreas litorales como medida de la disponibilidad de ecosistemas costeros.
- Superficie de áreas continentales (número de cuadrados) colindantes con zonas costeras (ecosistemas con climas oceánicos) y los distantes al menos un cuadrado de las costas (ecosistemas con climas continentales).
- Suponiendo que los cuadrados marinos vecinos a los continentes representen áreas marinas someras (plataformas continentales), comparar la superficie de estos ecosistemas en las dos distribuciones propuestas.
- Las mismas opciones anteriores, pero teniendo en cuenta la latitud, es decir, dibujando la línea del ecuador y las de los trópicos para establecer bandas climáticas latitudinales (por ejemplo, se pueden medir las costas tropicales capaces de acoger comunidades de arrecifes, etc.).
- Comparar las dos situaciones con los mapas de distribución de continentes en los diferentes periodos del Fanerozoico y debatir sobre las posibilidades de vida y la evolución de la biodiversidad (gráficos de Rap y Sepkoski).

Actividad 2: Nivel del mar y oportunidades de vida



El dibujo muestra el perfil de un continente. Las tres líneas horizontales son tres situaciones del nivel del mar (debidas a glaciaciones, isostasia, etc.). Se trata de identificar las diferentes oportunidades que hay en cada caso para ecosistemas como los

arrecifes, suponiendo que es un área tropical. Sabiendo que los corales sólo pueden vivir hasta cierta profundidad, se deben dibujar las partes del perfil que podrían ser colonizadas por sistemas recifales y las consiguientes áreas de precipitación de carbonatos. Esto puede utilizarse para analizar y comprender los cambios en la disponibilidad de espacio para sistemas de plataforma continental con las transgresiones y regresiones marinas. Puede consultarse un mapa de ubicación de arrecifes en la actualidad y reflexionar sobre su relación con la distribución continental u observar las superficies actuales de plataforma alrededor de los continentes.

Referencias bibliográficas

AGUSTÍ, J. (2010): *El ajedrez de la vida*. Barcelona. Editorial Crítica.

BARBERÁ, O. (2010): «Extinción: una forma distinta de ver la vida», *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 62, pp. 29-42.

BRADLEY, A.S. (2010): «Geoquímica de los humeros blancos», en *Investigación y Ciencia*, núm. 401, pp. 28-34.

HAZEN, R.M. (2010): «La evolución de los minerales», *Investigación y ciencia*, núm. 404, pp. 38-45.

KIRCHNER, J.W. (1989): «The Gaia hypothesis: Can it be tested?», *Reviews of Geophysics*, vol. 27(2), pp. 223-235.

LUISI, P.L. (2010): *La vida emergente*. Barcelona. Tusquets editores.

MAYNARD SMITH, J.; SZATHMÁRY, E. (2001): *Ocho hitos de la evolución*. Barcelona. Tusquets editores.

MATURANA, H. y VARELA, F. (1994): *De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo* (5ª ed.). Santiago de Chile. Editorial Universitaria.

PASCUAL TRILLO, J. A. (2000): «Una teoría de la Tierra y una teoría del medio ambiente», *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 8(3), pp. 184-188.

— (2001): *La vida amenazada. Cuestiones sobre la biodiversidad*. Tres Cantos. Nivola.

— (2004): *Revoluciones en las ciencias naturales*. Madrid. Miraguano.

PARK, C.; SCHMINCKE, H.U. (2010): «Apocalipsis en el valle del Rin», *Investigación y Ciencia*, núm. 400, pp. 50-59.

PEDRINACI, E. (2009): «Origen y evolución de la Tierra», en *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 62, pp. 8-19.

PERETÓ, J. (2009): «¿Qué sabemos hoy sobre el origen de la vida?», *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, núm. 62, pp. 20-28.

SEQUEIROS, L.; GARCÍA DE LA TORRE, E.; PEDRINACI, E. (1995): «Tectónica de placas y evolución biológica: construcción de un paradigma e implicaciones didácticas», en *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, vol. 3(1), pp. 14-22.

Dirección de contacto:

José Antonio Pascual Trillo

IES El Escorial. Madrid

jap.tierra@gmail.com

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en julio de 2010 y aceptado en octubre 2010 para su publicación.