

Tierra y vida: una historia compartida

Earth and Life: a shared history

“Más de la mitad de las especies minerales de la Tierra deben su existencia a la vida”, afirma Robert Hazen¹ y, al leerlo, resulta inevitable pensar que quizá se estén llevando demasiado lejos las ideas sobre las interacciones Tierra-vida. Sin embargo, lo que hace este investigador es mucho más que conjeturar. En efecto, quienes comparten su posición no sólo se basan en un análisis de las especies minerales existentes en la Tierra sino en un estudio comparado con aquellas que pueden encontrarse en meteoritos, en la Luna, en Mercurio o en Marte. ¿Por qué hay en la Tierra más de 4400 especies minerales mientras que en la Luna hay apenas 350 y en Marte no mucho más de 500? La escasez de agua en la Luna o Mercurio, o su modesta presencia en Marte, justifican parte de esa diferencia. El menor tamaño de estos objetos celestes hizo, por otra parte, que su solidificación fuese más rápida y los ciclos de fusión y solidificación menos reiterados, circunstancias que justificarían la ausencia de condiciones para la génesis de otra tanda de minerales, pero aún quedarían muchos más. Algunos de ellos deben su existencia a la intervención directa de seres vivos. Otros, los más, se habrían generado gracias al ambiente oxidante que los organismos fotosintéticos propiciaron.

Los geólogos siempre hemos tenido claro que la historia de la vida no puede entenderse si no se analiza junto a la historia de la Tierra. Nuestra perspectiva disciplinar subraya lo suficiente la geología del planeta como para no olvidar su protagonismo en el rumbo seguido por la evolución biológica. Sin embargo, hemos sido mucho más reacios a asumir que la historia de la Tierra tampoco resulta explicable sin la intervención de los organismos. Tradicionalmente hemos visto en ellos una fuente de información, muy valiosa pero, a fin de cuentas, fuente de información sobre el pasado terrestre más que un agente de ese pasado. Puede, incluso, que aún sigamos regateándole a los seres vivos parte del papel que les

¹ Hazen, R. (2008). *Mineral evolution. American Mineralogist*, vol 93, 1693-1770. En castellano puede encontrarse una síntesis de estas ideas en Hazen, R. (2010). *La evolución de los minerales. Investigación y Ciencia*, mayo 2010, 38-45

corresponde en la dinámica terrestre. Quizá por eso, los organizadores del Año Internacional del Planeta Tierra seleccionaron entre los temas que deberían debatirse y concitar el interés de investigadores, enseñantes y ciudadanos en general, uno que llevaba por título “Tierra y vida”. Con él pretendían hacer, no tanto un tratamiento de la historia de la Tierra y la historia de la vida, como subrayar las relaciones entre la biosfera, geosfera, atmósfera e hidrosfera.

Nuestra intención al coordinar este monográfico ha ido en esa dirección. De manera que hemos seleccionado artículos que analizan las interacciones entre la Tierra y la vida, que muestran el estado actual del conocimiento en este terreno y que deben ayudarnos a comprender mejor algunos de los procesos clave en la historia del planeta. Procesos que no pueden entenderse sólo desde una perspectiva biológica ni sólo desde una perspectiva geológica, sino que demandan un enfoque sistémico.

Señala Richard Dawkins² (2008) que hay dos tentaciones que suelen llamar a la puerta de todo historiador (tanto si lo es de la vida, como de la Tierra o de la sociedad). Una de ellas es la de buscar pautas recurrentes en el devenir histórico; pareciera que todo encajase mejor si se observa cierta ciclicidad y, a veces con fundamento y a veces sin él, se hallan ciclos por doquier. La otra tentación es “la presunción de considerar que el objetivo del pasado era desembocar en nuestros días, como si los personajes de la obra de teatro de la historia no hubiesen tenido otro objetivo en la vida que prefigurar nuestro advenimiento”.

Puede que convenga estar avisado de ambas tentaciones. Con todo, asumiendo que cualquier situación histórica es única, los procesos se repiten y para poder interpretar los acontecimientos resulta esencial descubrir pautas, reglas generales o principios. Por tanto, detectarlos (con ciclicidad o sin ella) debe ser objetivo de todo investigador de la historia. La segunda tentación aludida por Dawkins, que podríamos denominar como perspectiva determinista o teleológica, es un sesgo que hoy suele estar más acentuado en el lector no experto que en el investiga-

² Dawkins, R. (2008). *El cuento del antepasado. Antoni Bosch editor*.

dor. Sea como fuere, podrá comprobarse que los trabajos de este monográfico integran la búsqueda de regularidades con las referencias explícitas a ciertas contingencias que cambiaron el curso de la historia y le dieron unos derroteros imposibles de prever.

Hemos querido evitar que este volumen parezca un tratado de la historia de nuestro planeta y de los organismos que lo han poblado. Existen muchos y buenos manuales que ya lo hacen y, por otra parte, ese objetivo se saldría de los fines y dimensiones de esta revista. Nos ha parecido mucho más interesante enfocar algunos de los momentos y/o procesos que resultan claves para entender la historia de la vida y de la Tierra, ver de qué datos disponemos, qué interpretaciones resultan más congruentes con ellos y qué dudas nos generan.

Aunque, obviamente, no se trata de capítulos de un libro escrito para ser leído de principio a fin sino de artículos de una revista y, por tanto, autónomos unos de otros, la ubicación de cada uno de ellos no es aleatoria. Así, hemos manejado simultáneamente dos criterios, uno atiende a la cronología de los acontecimientos tratados y el otro procura ir de lo general a lo particular. De manera que, si el interesado decide leer el monográfico completo, todo adquiere más sentido y cada artículo tenga mayor significado si su lectura va precedida por la de los situados delante de él.

Era casi obligado que el primer artículo de este número se ocupase de la génesis de la Tierra y de las condiciones que hicieron de ella un planeta habitable. Los avances en las ciencias del espacio, los análisis isotópicos y la utilización de modelos, han hecho posible que se mejore notablemente nuestra comprensión de lo que debió ocurrir hace casi 4600 millones de años para que se individualizase el protoplaneta terrestre y, algunos centenares de millones de años más tarde, adquiriese unas condiciones que hicieron posible la aparición de la vida. En este trabajo se abordan cuestiones como: ¿qué pudo desencadenar el colapso gravitatorio de la nube interestelar que marcó el origen de nuestro sistema solar?, ¿cuándo dispuso la Tierra de su protector campo magnético?, ¿durante cuánto tiempo existió el océano de magma?, o ¿cuál es la procedencia del agua que dio origen a los océanos? Se muestran algunos de los datos más importantes de los que disponemos y las hipótesis que gozan de mayor aceptación.

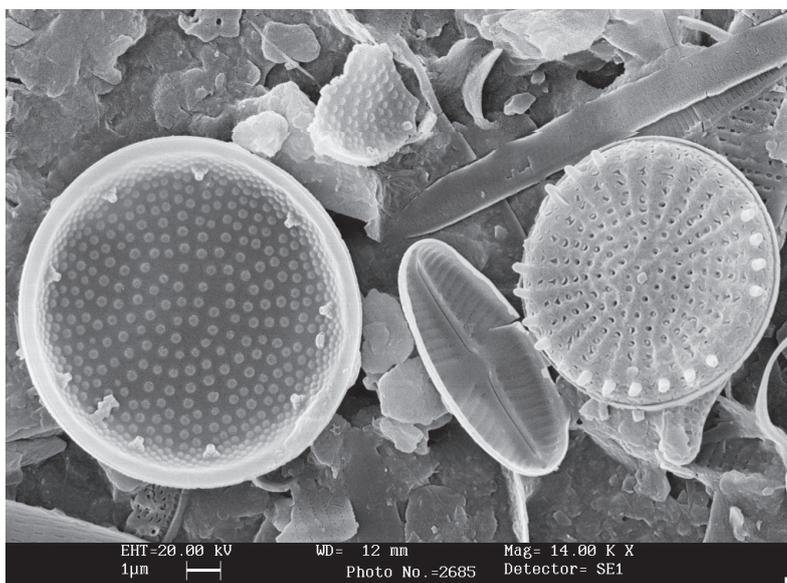
Si en el primer trabajo se habla del origen de los océanos en el segundo se afronta el origen de la atmósfera. Para ello, María Jesús Mediavilla nos traslada 4500 millones de años atrás y analiza las características que debió tener la atmósfera prebiótica terrestre, su composición, temperatura, las altas presiones que ejercería sobre la superficie oceánica y los procesos que le afectarían. Todo ello nos ayuda a formarnos una idea más ajustada del escenario en que debió producirse la aparición de la vida. El artículo hace una excelente síntesis de

los cambios generados en la atmósfera, océanos y corteza terrestre como consecuencia de la actividad de los organismos, centrándose en la aportación del oxígeno atmosférico. Probablemente no haya ninguna cuestión en la que resulten tan evidentes las interacciones entre la biosfera y los demás subsistemas terrestres, interacciones que hicieron de la Tierra un planeta que iría marcando las diferencias con sus hermanos más cercanos.

No parece fácil hallar una relación más estrecha entre lo no vivo y lo vivo que los procesos que debieron ocurrir en nuestro planeta para pasar de uno al otro. El tratamiento que los libros de texto suelen hacer de la aparición de la vida comienza con la sugerencia de Darwin de que todos los organismos actuales podrían ser resultado de la evolución a partir de una sola forma de vida; de ahí se pasa a las propuestas de Oparin y Haldane en el primer tercio del siglo XX, y a la experiencia de Miller a mitad de ese siglo. Por encima de esas referencias obligadas, apenas se recogen algunas objeciones a las condiciones demasiado reductoras utilizadas por Miller, se citan las chimeneas hidrotermales como posible contexto para la aparición de la vida y se comenta la recurrente hipótesis de la panspermia. ¿Hay más? Pues Carlos Briones nos dice que sí, que hay mucho más, que éste es un campo de investigación interdisciplinar muy dinámico en el que se están hallando respuestas plausibles a las preguntas que nos veníamos haciendo, al mismo tiempo que se formulan otras nuevas. Como resultado de todo ello estamos en condiciones de dibujar un itinerario, hipotético pero bien fundado, que pudo conducir desde las primeras biomoléculas hasta LUCA (*Last Universal Common Ancestor*). Briones hace una síntesis tan actualizada como clarificadora del estado de la cuestión.

Otro tópico habitual en los libros de texto es el ciclo del carbono; un ciclo en el que este elemento pasa de la atmósfera o la hidrosfera a los organis-

Fig.1. Fotografía de microscopio electrónico de barrido que permite observar dos diminutas especies de diatomeas (algas eucariotas con caparazón silíceo), en este caso de agua dulce. Las especies son Stephanodiscus hantzschii (redondas) y Eolimna minima (elíptica). Por su forma de vida, caracterizada por sucesivas explosiones y mortalidades, por su tamaño y por las estructuras silíceas de su caparazón, estas algas son uno de los grupos más representativos de la visión sistémica del planeta. Autor: Saúl Blanco, Universidad de León.



mos, y de ellos al suelo y de nuevo a la atmósfera, siguiendo un proceso cerrado sin entradas ni salidas netas. Este ciclo no sólo es demasiado simplista sino que olvida los principales reservorios planetarios de carbono y no considera procesos cuya eficacia se manifiesta a escalas de millones de años. En consecuencia, no permite explicar cuestiones tan esenciales como, por ejemplo, por qué el CO₂ pasó de ser el componente mayoritario de la atmósfera terrestre a contar su presencia en partes por millón. Por otra parte, el resultado de este modelo puede inducir a confusión cuando analizamos los cambios climáticos del pasado o del presente. En el artículo “*Ciclo del carbono y clima: la perspectiva geológica*” Javier Martín-Chivelet hace un análisis riguroso, clarificador y brillante del ciclo del carbono de largo plazo y de los mecanismos que intervienen en él, y nos muestra su estrecha relación con el clima. Se trata de una cuestión tan compleja como interesante, que está concitando el interés de numerosos investigadores en todo el mundo y cuya comprensión resulta imprescindible para entender los cambios climáticos y, en definitiva, el funcionamiento terrestre.

La aparición en el registro fósil de los primeros ancestros de los animales actuales ha sido un acontecimiento controvertido desde los orígenes del darwinismo. En el artículo titulado “*Murero y la explosión del Cámbrico*”, un prestigioso equipo multidisciplinar integrado por Rodolfo Gozalo, José Antonio Andrés, Juan B. Chirivella Martorell, María Eugenia Dies Álvarez, Jorge Esteve, José Antonio Gámez Vintaned, Eduardo Mayoral, Samuel Zamora y Eladio Liñán analiza, con datos de primera mano, el estado de la cuestión de este evento. La intensa investigación realizada en las últimas décadas, especialmente centrada en yacimientos excepcionales como Burgess o Murero, ha permitido vislumbrar los rasgos principales de este acontecimiento, cuyo detonante y significado siguen siendo, a día de hoy, objeto de fructíferos debates. El artículo se completa con un interesante recorrido por diversos materiales didácticos y divulgativos derivados de las investigaciones realizadas por los miembros de este equipo en el ya clásico yacimiento de Murero.

El importante descenso de la biodiversidad y el paralelo aumento de alteraciones ambientales registrados en nuestro planeta durante los últimos años nos ha obligado a dirigir la mirada a los grandes eventos de extinción. Se trata, en este caso, de un intento de comprender nuestro presente a través del conocimiento de nuestro pasado. Y lo que se ha encontrado, al dirigir una mirada holística y multidisciplinar a estos acontecimientos, tiene poco que ver con la idea de sucesos simples y súbitos provocados por un agente externo y estocástico. El artículo “*Construyendo una nueva visión de la historia de la vida*” describe la actual forma científica de mirar los acontecimientos inusuales en la historia de la Tierra, los muy diversos métodos aplicados, las maneras de

detectar y contrastar evidencias, la difícil búsqueda de relaciones causa-efecto y, también, los múltiples interrogantes y problemas no resueltos que convierten esta investigación en una apasionante expedición hacia lo desconocido. A modo de ejemplo, tanto de la forma sistémica de enfocar su estudio como de los resultados obtenidos hasta la fecha y aún sujetos a interpretación, el artículo describe en detalle el evento biótico más devastador de nuestra historia, la gran mortandad de finales del Pérmico.

Si los dinosaurios son los fósiles fetiche por excelencia, el impacto meteorítico que diezmó a estos “lagartos terribles” a finales del Cretácico no está menos presente en la imaginaria paleontológica popular. José Ignacio Canudo, reconocido experto en dinosaurios, nos guía en un ameno recorrido por las ideas históricas acerca de la extinción de los dinosaurios no avianos, deteniéndose en un análisis de los datos más recientes sobre el evento fini-cretácico. Aunando sencillez y rigor, el artículo de Canudo contrasta las evidencias e interpretaciones aportadas por las dos principales hipótesis sobre las causas últimas de este evento. En el contexto de este monográfico, lo interesante es que ambas hipótesis concuerdan en la existencia de severas alteraciones en la composición y funcionamiento de nuestro planeta, las cuales serían causa directa de los cambios bióticos del límite Mesozoico-Cenozoico. El artículo hace énfasis en la trascendencia del debate para el avance de la ciencia y en la imperiosa necesidad de adoptar un enfoque sistémico y multidisciplinar a la hora de investigar los hitos que han jalonado la historia de la vida.

Pero no todo son dudas e interpretaciones acerca del desarrollo biológico de la Tierra. Hace ya varias décadas que la comunidad científica comparte una opinión unánime sobre el importante papel jugado por la dinámica interna de nuestro planeta en los altibajos geohistóricos registrados por su biodiversidad. Andrea Jiménez-Sánchez realiza un metódico trabajo de síntesis que nos permite recorrer cómodamente el intrincado laberinto de relaciones existentes entre elementos usualmente tan alejados como la vida, el clima, la rotación de nuestro planeta, la deriva continental, la actividad magmática, los ascensos y descensos del nivel del mar o el viaje de nuestro sistema solar a través de la Vía Láctea. Para mostrarnos la complejidad que pueden alcanzar estas relaciones cuando son varios los factores implicados, Jiménez-Sánchez revisa, a la luz del enfoque sistémico, algunos de los momentos más significativos de la historia de la vida, desde la extinción de la curiosa biota de Ediacara hasta el reciente episodio conocido como el “gran intercambio americano”.

En diversas ocasiones, las páginas de esta revista se han hecho eco del deterioro que viene sufriendo la enseñanza de la geología, su menor presencia en la educación secundaria y los efectos que esta situación está teniendo en los estudios universitarios. Las razones de una situación como esa son comple-

jas y no es este el lugar para analizarlas. En cualquier caso, no todas ellas son atribuibles a la torpeza o miopía de las administraciones educativas. También las hay que dependen más de los profesionales de la geología y su enseñanza que nos hemos preocupado poco de mostrar la importancia social de la geología y de su divulgación. Algo está cambiando en este terreno y el trabajo de organizaciones como Dinópolis es un buen ejemplo. Luis Alcalá, Luis Luque, Ainara Aberasturi, Daniel Ayala, Alberto Cobos, Eduardo Espílez, Francisco Gascó, Ana González, Luis Mampel y Rafael Royo-Torres nos presentan en su artículo la investigación realizada en el yacimiento de Riodeva (Teruel) cuyos hallazgos han supuesto la definición de un nuevo género y especie de dinosaurio saurópodo, *Turiasaurus riodevenensis*, y su reconocimiento internacional con la publicación del hallazgo en *Science*. Con todo, nos gustaría destacar que, como puede apreciarse en este trabajo, el rigor en la investigación no está reñido con una buena labor divulgativa.

De uno u otro modo, todos los artículos que hemos comentado hasta aquí tienen en cuenta la perspectiva educativa característica de una revista como *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, bien por la selección de conceptos que se realizan, por los trabajos prácticos que se proponen, por las ideas para el aula que se incluyen o por todo un poco. Hay, no obstante, dos artículos de este monográfico en los que todo lo que se dice está pensado para la enseñanza y el aprendizaje de las relaciones entre la Tierra y la vida.

En el primero de ellos, Leandro Sequeiros utiliza el paralelismo entre el trabajo del paleontólogo y el realizado por Sherlock Holmes, el personaje de Conan Doyle, para hacer una sugerente propuesta pensada para la enseñanza de la metodología científica en la educación secundaria. Así, la observación, la formulación de preguntas, la elaboración de hipótesis, su contrastación y la obtención de conclusiones se suceden a lo largo de la narración. Sequeiros no utiliza a Holmes sólo como un recurso narrativo sino que, de la mano del famoso detective, nos propone un itinerario salpicado de ideas, sugerencias y actividades. El resultado es un trayecto que, paso a paso, acerca la mirada del aprendiz de científico a la forma en la que un paleontólogo observa el mundo natural.

En la segunda propuesta didáctica son Luis Alcalá, Ana González y Luis Luque quienes nos ofrecen ideas sobre cómo utilizar los fósiles para trabajar con alumnos de educación primaria y secundaria, presentando para ello algunos de los talleres paleontológicos que vienen haciendo con grupos de escolares. Uno de estos talleres, denominado “*Dinosaurio hueso a hueso*”, permite tratar cuestiones como la fosilización y la reconstrucción anatómica de un vertebrado a partir de sus fósiles. En el otro, “*¿Quién paso por aquí?*”, se trabaja con icnofósiles y se muestran algunas de las conclusiones que pueden obtenerse no tanto sobre la forma como sobre la vida y el comportamiento de

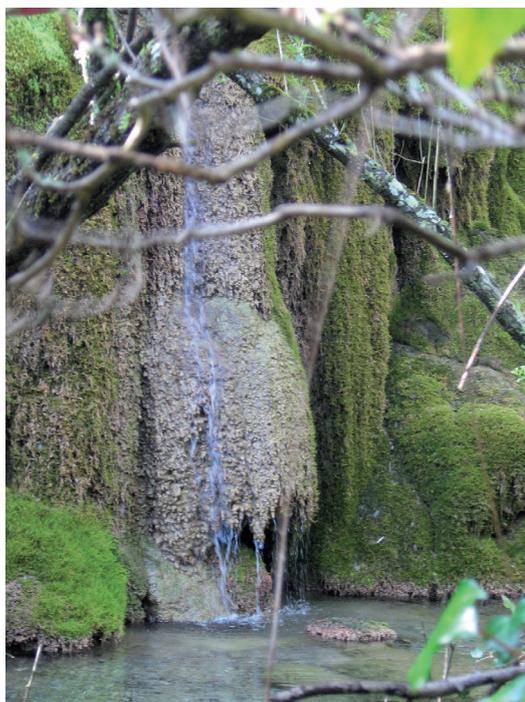


Fig. 2. Valdelucio (Burgos). Las rocas conocidas como travertinos son el resultado en la litosfera de un delicado equilibrio entre la hidrosfera (el agua que contiene iones en disolución), la atmósfera (especialmente el aire contenido en las burbujas del agua, pero también las condiciones físicas del aire en la atmósfera) y la biosfera (la vegetación y fauna que ocupa la salida del agua).
 Autora: Esperanza Fernández, Universidad de León.

los organismos que dejaron aquí sus huellas. En ambos casos se hace un uso permanente del actualismo como método de análisis. Se trata de dos talleres contrastados en la práctica y cuyos resultados han sido especialmente fructíferos. Toda una garantía.

Aunque este es el primer número de la revista en el que se tratan de manera monográfica las interacciones Tierra y vida no es, evidentemente, el primero en el que figuran artículos que, más o menos directamente, abordan estas cuestiones. Nos ha parecido, en consecuencia, que podría resultar útil hacer una búsqueda de esos artículos y recordarlos aquí. Por ello el número monográfico se cierra con el trabajo *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra ha publicado...*

Queremos agradecer a los autores de los diferentes artículos su colaboración en este monográfico, el esfuerzo realizado por integrar rigor científico y claridad, el enfoque didáctico adoptado por todos ellos y la paciencia con la que han atendido nuestros plazos y peticiones. A todos, muchas gracias.

Somos conscientes de que, inevitablemente, se han quedado fuera algunos temas que merecerían haber formado parte de esta selección, será en otra ocasión. En todo caso confiamos en que este monográfico nos ayude a construir un modelo más ajustado sobre *cómo funciona la Tierra* y cuál es nuestro auténtico papel dentro de este delicado sistema, y que a su vez nos proporcione algunas ideas acerca del modo en que pueden trabajarse estas cuestiones en el aula. ■

**Emilio Pedrinaci y
 Esperanza Fernández-Martínez**
 Coordinadores del monográfico