

La geología en 100 preguntas

Vicente del Rosario Rabadán
Raquel Rossis Alfonso



Colección: 100 preguntas esenciales
www.100Preguntas.com
www.nowtilus.com

Título: *La geología en 100 preguntas*

Autor: © Vicente del Rosario Rabadán, © Raquel Rossis Alfonso

Director de la colección: Luis E. Íñigo Fernández

Copyright de la presente edición: © 2018 Ediciones Nowtilus, S.L.
Doña Juana I de Castilla 44, 3º C, 28027 Madrid
www.nowtilus.com

Elaboración de textos: Santos Rodríguez

Diseño de cubierta: eXpresio estudio creativo

Imagen de portada: *NASA Goddard Photo and Video*

Fuente: <https://www.flickr.com/photos/gsf/>

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra (www.conlicencia.com; 91 702 19 70 / 93 272 04 47).

ISBN Papel: 978-84-9967-928-0

ISBN Impresión bajo demanda: 978-84-9967-929-7

ISBN Digital: 978-84-9967-930-3

Fecha de publicación: marzo 2018

Impreso en España

Imprime: Podiprint

Depósito legal: M-3206-2018

A nuestros familiares y amigos.

Índice

Prólogo

I. Introducción

1. Antes de la geología..., ¿qué? 17
2. ¿Se puede poner algo de orden
entre tantas piedras? 21
3. ¿Por qué sabemos que la Tierra es muy antigua? 24
4. ¿Era Charles Darwin geólogo? 27
5. ¿Cuál es la edad de la Tierra? 31

II. Cristalografía y mineralogía

6. ¿Por qué las ventanas no son de cristal? 35
7. ¿Cómo se forman los cristales? 38
8. ¿Puede convertirse un lápiz en diamante? 41
9. ¿Es el hielo un mineral? 44
10. ¿Cómo evitar el «oro de los tontos»? 46
11. ¿Cuál es el principal ingrediente de las rocas? 49
12. ¿Con qué están condimentadas las rocas? 52
13. ¿Por qué algunas piedras son preciosas? 56
14. ¿Cuáles son los poderes de los minerales? 59
15. ¿Curan los minerales? 61

III. Paleontología

16.	¿Qué son «los caprichos de la naturaleza»?	65
17.	Si la gorgona Medusa no existió, ¿cómo se petrifican los seres vivos?	69
18.	¿Hubo años con miles de días?	73
19.	¿Qué nos dicen las rocas sobre la vida?	76
20.	¿Existieron dinosaurios en la prehistoria?	80

IV. Atmósfera e hidrosfera

21.	¿Se vive mejor sin oxígeno?	85
22.	¿El hombre del tiempo siempre se equivoca?	88
23.	¿Cómo estropeamos el aire?	91
24.	¿El azul del planeta es realmente terrestre?	94
25.	¿Cómo es posible que los ríos lleven agua en verano?	97
26.	El mar es el morir, ¿o es al contrario, Manrique?	100
27.	¿La toma de la Bastilla fue cosa del clima?	103

V. Geomorfología

28.	¿Es verdad que el relieve cambia?	109
29.	¿Cómo hacer un relieve de película?	112
30.	¿Qué pasa durante las lluvias torrenciales?	115
31.	El mar o la tierra, ¿quién es más fuerte?	118
32.	¿Cuál es el secreto de la Gran Esfinge?	121
33.	¿Cómo se desplazan las rocas gigantes?	124
34.	¿Pueden disolverse las rocas?	127

VI. Ciclo de las rocas

35.	¿Cómo se forma el basalto?	131
36.	¿Qué es una cuenca sedimentaria?	135
37.	¿Cómo pudo llegar grava al medio del océano?	137
38.	¿El efecto invernadero puede quedar petrificado?	141
39.	¿Qué pistas nos desvelan las rocas sobre el pasado de la Tierra?	144

40.	¿Pueden doblarse las rocas?	148
41.	¿Cómo afecta el calor a las rocas?	151
42.	¿Cómo cambian las rocas enterradas?	154
43.	¿El petróleo funde las rocas?	156
44.	Palomitas y rocas, ¿qué nos desvela el maíz?	159
45.	Magma ácido y lava básica, ¿en qué se diferencian?	163
46.	¿Cómo distinguir una colada de un magma atascado?	166
VII. Riesgos y recursos geológicos		
47.	¿Cuánto daño me puede hacer la Tierra?	169
48.	¿Por qué ardió San Francisco en 1906?	173
49.	¿Cómo murió Plinio?	177
50.	¿Por qué el río Turia no pasa por Valencia?	180
51.	¿Qué significa 津波?	183
52.	¿Cuál es el temor en el litoral atlántico?	186
53.	¿Cuánto planeta necesito?	189
54.	¿En qué consistía el <i>ruina montium</i> ?	194
55.	¿La Revolución Industrial comenzó en una selva?	196
56.	Un zahorí en busca de agua, ¿cómo la consigue?	200
VIII. Estructura de la Tierra		
57.	¿Es posible viajar al centro de la Tierra?	203
58.	¿Cómo se ausculta al planeta?	207
59.	¿De qué está hecho el interior de la Tierra?	210
60.	¿Chirriaba el cielo de la antigua Grecia?	213
61.	¿Cómo es la «piel» del planeta?	216
62.	¿Qué fue de la astenosfera?	219
63.	La manzana de Newton, ¿cae igual en todos lados?	222

IX. Tectónica de Placas

64.	¿En qué se parece la Tierra a una manzana?	227
65.	¿La geografía cambia?	229
66.	¿Qué verdad escondían los océanos?	231
67.	Y sin embargo... ¿se mueven?	235
68.	¿También la litosfera tiene un ciclo?	238
69.	¿Cómo nos hizo hombres la tectónica de placas?	242
70.	Moisés y el Éxodo, ¿hubo otra apertura del mar Rojo?	245
71.	¿Existe el abismo?	247
72.	La conquista del cielo, ¿puede lograrse desde el inframundo?	251

X. Historia de la Tierra

73.	La biografía de un planeta, ¿puede ser entretenida?	255
74.	¡Ay, Facundo...! ¿Dejaremos huella en este mundo?	260
75.	¿Cuáles son las pruebas del crimen del K/T?	263
76.	¿Cómo bailaron los antiguos continentes?	266
77.	¿Cuál es el clima normal del planeta?	268
78.	¿Cómo es el apocalipsis?	270
79.	¿Con qué plantas vivieron los dinosaurios?	273
80.	Ballenas o salamandras gigantes, ¿cuáles asustaban a Darwin?	276
81.	¿Cuándo sucedió la metamorfosis del reino animal?	279
82.	¿Cómo fue la infancia del planeta?	281
83.	¿Qué nos depara el futuro?	285
84.	¿Y si se condensara la historia de la Tierra en un año?	287

XI. Geología regional

- | | | |
|-----|--|-----|
| 85. | Y después de Pangea, ¿qué? | 291 |
| 86. | ¿Qué hacen las Canarias en medio del Atlántico? ... | 293 |
| 87. | El Amazonas y el Titicaca, ¿cómo se formaron? | 296 |
| 88. | De Maracaibo a Tierra del Fuego,
¿cómo se formaron los Andes? | 298 |
| 89. | ¿Cómo se unieron las dos Américas? | 301 |
| 90. | ¿Cuál es la historia del Caribe? | 304 |
| 91. | Hienas y cocodrilos,
¿dónde está la sabana española? | 306 |
| 92. | La bisagra de Pangea,
¿cómo quedó tras tanto movimiento? | 310 |
| 93. | ¿De qué es testigo el Corcovado? | 313 |
| 94. | Iberia sumergida, ¿cómo salió del agua? | 315 |

XII. Planetología

- | | | |
|------|---|-----|
| 95. | ¿Quiénes nos pusieron en movimiento? | 319 |
| 96. | ¿Qué aprendimos de los gigantes? | 323 |
| 97. | ¿Cuáles son los planetas del sistema solar? | 325 |
| 98. | ¿Dónde están los marcianos? | 328 |
| 99. | ¿También hay personas en otros planetas? | 331 |
| 100. | ¿Dónde vamos a vivir? | 335 |

- | | |
|--------------------|-----|
| Bibliografía | 341 |
|--------------------|-----|

PRÓLOGO

La transmisión del conocimiento adquirido por la ciencia es publicada en revistas especializadas. Los investigadores acceden a una pequeña parte de esos artículos, pero lógicamente la población no posee los medios necesarios para interpretar y comprender esos resultados. La sociedad en general es mucho más diversa que el sector científico haciendo que la divulgación de la ciencia pueda convertirse en una difícil tarea y las escuelas, un lugar desde el que intentarlo.

Un profesor de instituto que enseñaba geología en Andalucía afirmó que «la ciencia que se muestra en el aula es con frecuencia estática, cerrada, acabada. Al alumno se le ocultan tanto las incertidumbres e interrogantes del pasado como los que pueden encontrarse hoy». Quizás no fue el primero ni el único que lo pensó, pero han pasado ya más de veinte años desde que don Emilio Pedrinaci publicara esas palabras en la revista de la Asociación Española para la Enseñanza de las Ciencias de la Tierra y, desgraciadamente, en este sentido muy poco o nada ha cambiado. En cualquier caso, probablemente no haya razones para ser pesimistas; humildemente pensamos, señor Manrique, que no andaba en lo cierto cuando dijo que «cualquier tiempo pasado fue mejor». Pero tampoco podemos negarlo: hay cosas que en el pasado iban mejor, y ese es el caso de la enseñanza de la geología.

El simpático Sheldon Cooper dijo que la geología no es una ciencia real, pero cualquiera que tenga dos dedos de frente sabe que esto no es así. No cabe duda de que es una ciencia llena de peculiaridades: los que la estudian suelen tener más aspecto de excursionistas que de universitarios y muchos creen que se puede ser geólogo sin saber matemáticas; pero, evidentemente estos estereotipos no son ciertos (bueno, al menos no completamente ciertos).

La geología es una ciencia maravillosa que no solo permite el deleite con preciosos paisajes y soleados paseos por el campo, sino que nos lleva a realizar viajes inimaginables que desafían los límites de la comprensión humana. Galileo no fue un geólogo, pero sí un científico de la Tierra. Él fue quién puso nuestro planeta en movimiento y nos alejó irremediabilmente del centro del espacio. Más tarde vino un médico, de nombre James Hutton, y nos hizo ver que tampoco nosotros ocupábamos un lugar privilegiado en el tiempo. Y poco después llegó Darwin, quien tratando de evitarse problemas, pidió a quienes no tuvieran la capacidad de comprender la inmensidad del tiempo geológico que cerraran su libro. Nadie hizo caso a este joven geólogo y muchos seguimos fascinados al comprender que en este universo no tenemos un papel protagonista.

La geología es imprescindible. La geología no se puede perder. La geología debe formar parte del conocimiento de cualquier persona culta. Este libro pretende ser un granito de arena. Esperamos que sea de cuarzo y resista un tiempo antes de convertirse en el alimento de los fangosos, ocultos y olvidados fondos marinos. Eso es lo que hemos intentado y nos gustaría que este libro continuara vivo. Nos gustaría mantener el contacto con usted, con el lector; y para ello esperamos verle por nuestra web de GEOLOGÍAparaINSTITUTOS (puede buscarnos en google).

Por último quisiéramos mostrar nuestro agradecimiento a las personas que de una forma u otra nos han llevado a sentir una cierta pasión por la divulgación de la ciencia en general y de la geología en particular: autores como Sagan, Asimov, Anguita y, muy especialmente, a nuestros padres.

Ojalá que disfruten del libro.

Santa Cruz de Tenerife, 4 enero de 2018

I

INTRODUCCIÓN

1

ANTES DE LA GEOLOGÍA..., ¿QUÉ?

Somos parte de la naturaleza. Comemos, matamos y morimos como los animales, pero somos diferentes a ellos. Ayudándonos de ramas, tendones y piedras construimos herramientas. Enseñamos a nuestros hijos a identificar las piedras más adecuadas para construirlas, especialmente aquellas de las que podemos obtener bordes cortantes.

Conocemos los puntos en que el agua brota del suelo y otras cuevas donde pernoctar. Nos gusta este lugar para vivir porque estamos cerca de un terreno donde recoger barro con el que construir nuestras vasijas. También solemos recolectar tierras verdes, rojas y blancas con las que podemos decorar nuestros cuerpos en ocasiones especiales. Cerca del río solemos encontrar piedras traslúcidas con bellos colores con los que hacemos collares y amuletos.

Cuando mis hermanos y yo éramos pequeños, un sonido ensordecedor hizo temblar la montaña, fue como si el mundo se rompiera. Los sabios nos dijeron que a veces los espíritus se enfadan, y por ello debíamos realizar ofrendas



Nuestros antepasados prehistóricos tuvieron una relación muy íntima con el entorno y en muchos aspectos debieron tener un conocimiento práctico de la naturaleza mucho mayor que la mayoría de nosotros. Aunque no podemos hablar de un pensamiento geológico, el saber acumulado durante milenios sentó las bases para el desarrollo que vino después.

considerar su habilidad para pescar o cazar como el nacimiento de la biología, tampoco ahí vamos a encontrar el origen de nuestra ciencia.

No obstante, es muy probable que aquellas ingentes observaciones de nuestros antepasados y sus reflexiones más intuitivas estén detrás de las primeras interpretaciones lógicas de la naturaleza. Como es sabido, este paso del mito al logos, fundamental para la historia de la ciencia, tuvo lugar en la antigua Grecia, donde los primeros filósofos de la naturaleza desarrollaron explicaciones racionales, aunque no por ello ciertas, en torno al mundo que nos rodea. Por ejemplo, junto a la concepción geocéntrica, con una Tierra inmóvil en el centro del cosmos, nacieron otras ideas erróneas sobre diferentes aspectos del planeta.

Estos pioneros de la ciencia imaginaron que el interior de la Tierra era hueco, que el agua que alimenta los ríos ascendía desde los mares a través del subsuelo y que los terremotos



«Para los que vimos estos fenómenos por primera vez, la impresión no fue fácil de olvidar [...]. La mente parecía marearse al mirar tan atrás en el abismo del tiempo, y mientras escuchábamos con la máxima atención y admiración al filósofo que nos estaba desentrañando estos maravillosos eventos, fuimos conscientes de que, a veces, la razón puede ir mucho más lejos de lo que la imaginación se atreve». El matemático John Playfair se refería con estas palabras a su amigo James Hutton, quien les había llevado al acantilado de Siccar Point.

planeta con pocos siglos de antigüedad, teoría respaldada por los cálculos que había realizado un arzobispo irlandés, James Ussher, a partir de la interpretación literal de la Biblia. Este clérigo, basándose en datos como las edades de los descendientes de Adán y Eva, había fechado el origen de la Tierra en el atardecer del 22 de octubre del año 4004 a. C.

Sin embargo, para James Hutton (considerado actualmente como el fundador de la geología moderna) las ideas de Werner no podían ser correctas. Este naturalista escocés proponía una nueva visión que contradecía las afirmaciones del eminente profesor alemán. Para entender la dimensión de las ideas de Hutton recordemos un fragmento de la película *2001: una odisea del espacio*. En ella sucede algo que se parece bastante a lo que él intuía. Al inicio, este largometraje nos muestra a



«Me gustaría que algún millonario forrado se dedicara a hacer perforaciones en varios de los atolones del Pacífico y el Índico, y que volviera con algunos núcleos [...] extraídos de una profundidad de 150 a 180 metros». (Carta de Darwin de 1881). Setenta años después, un estudio geológico relacionado con las pruebas nucleares de Estados Unidos en las islas Marshall confirmó la hipótesis de Darwin. Los investigadores colocaron un cartel con la inscripción: «Darwin was right!».

Sin embargo, el mayor cúmulo de observaciones geológicas lo realizó al abandonar el océano Atlántico. En su recorrido por la Patagonia percibió una serie de escarpes que se prolongaban a lo largo de más de mil kilómetros paralelamente a la línea de costa. Cada escarpe correspondía a un acantilado costero con antiguas playas de guijarros en la base, evidencia de que habían estado expuestos al oleaje en el pasado.

A su paso por la costa chilena, observó numerosos depósitos de conchas de organismos marinos recientes situados a alturas de decenas de metros sobre el nivel del mar. Además, en las cumbres de los Andes descubrió un gran bosque costero fosilizado. Estos hallazgos y la vivencia de un seísmo, que pudo relacionar directamente con un levantamiento de varios metros en la costa, le convencieron del acenso de las cordilleras mediante pequeños impulsos, a consecuencia de una lenta y larga serie de terremotos. Ser testigo de una erupción en esa misma región le llevó a vincular el vulcanismo y la sismicidad, y las señaló como las fuerzas responsables

II

CRISTALOGRAFÍA Y MINERALOGÍA

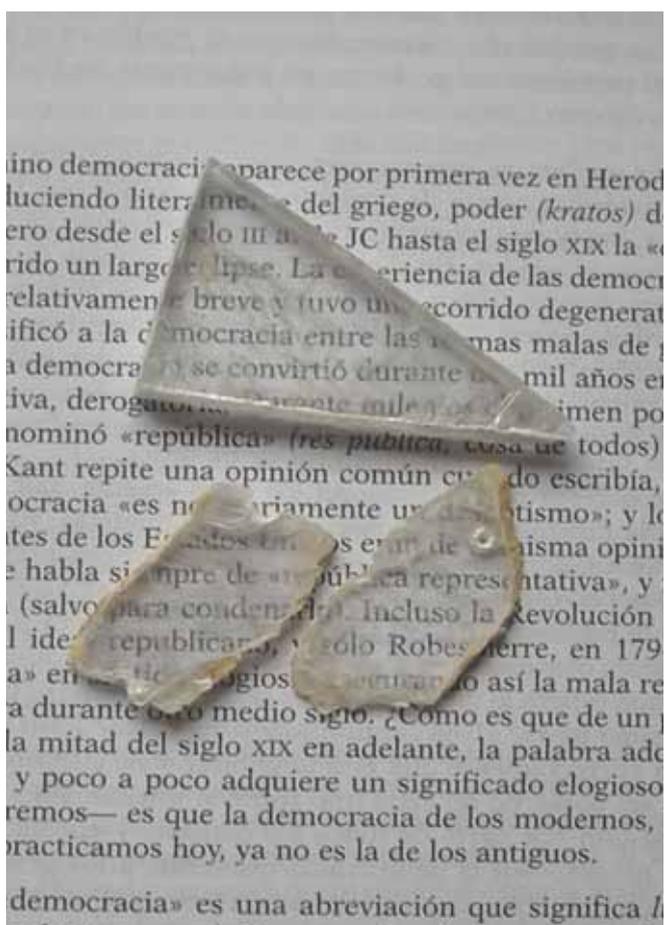
6

¿POR QUÉ LAS VENTANAS NO SON DE CRISTAL?

Los átomos, en los que encontramos respuesta a la cuestión anterior, también van a ser ahora los protagonistas. Pero antes de que estas partículas salgan a escena, vamos a continuar nuestro viaje por la historia de la geología. Situémonos en una época en que las ideas de Demócrito habían caído en el olvido y los científicos aún no habían desarrollado los modernos modelos atómicos. Vayamos concretamente al momento en que se origina la confusión lingüística que plantea esta pregunta, cuando Plinio el Viejo escribió sobre los *crystallus* de Segóbriga... ¡Bienvenidos al Imperio romano!

Aunque este viaje en el tiempo nos pueda parecer relativamente largo, si nos encontramos en la antigua Hispania, el espacio que deberemos recorrer no será tanto. En la actual provincia de Cuenca estaban localizadas las minas donde se extraía *lapis specularis*, el nombre en latín de grandes cristales de yeso transparente (yeso selenítico) que se utilizaban para cubrir las ventanas e invernaderos de los habitantes más ricos de Pompeya y otras ciudades del imperio. Debido a su configuración laminar era

En coherencia con la vieja teoría de los cuatro elementos (agua, tierra, aire y fuego como ingredientes de toda la materia), los sabios griegos de la antigüedad creyeron que las piedras transparentes estaban formadas por agua superenfriada. Los llamaron *krýstallos*, término que procede de *krýos* y significa ‘helado’.



de sílice. Posteriormente, tras ser modelado, se procede al enfriamiento rápido de la masa fundida.

Las ventanas de nuestra casa, el parabrisas de nuestro coche, las botellas, los vasos..., todos ellos están hechos de este material transparente. En la industria se suele usar el término cristal para indicar el tipo de vidrio que tiene un gran brillo y una absoluta ausencia de coloración. Estas características se deben a la particular pureza de las materias primas y, más que nada, a la presencia de óxido de plomo. En el caso de España, incluso la legislación admite llamar cristal a aquellos vidrios a los que se le incorporan en su composición al menos el 24 % de esta sustancia.

Sin embargo, desde el punto de vista científico esto constituye un error, puesto que existen diferencias claras entre ambos conceptos. Para los cristalógrafos, la materia cristalina es aquella en la que sus componentes, átomos y moléculas, están dispuestos de forma ordenada, siguiendo patrones geométricos definidos. Precisamente lo que no ocurre en el vidrio, que es una sustancia amorfa donde las partículas que lo constituyen



Aunque tradicionalmente se ha denominado cristal a los cuerpos sólidos con forma geométrica regular limitada por superficies planas, la mayor parte de los cristalógrafos emplean hoy en día este término para referirse a cualquier sólido con estructura interna ordenada.

En el caso de los cristales de sal común (NaCl), por ejemplo, estos están formados por dos tipos de átomos: la mitad son de sodio y la otra de cloro. Si estos átomos fueran los niños que se sientan en torno a una mesa, se colocarían ocupando las esquinas de forma alterna, es decir: un cloro en una esquina, un sodio en la contigua, luego otro cloro y finalmente otro sodio. Sobre ellos otros cuatro átomos: un cloro sobre cada sodio y viceversa. Y junto a esta configuración tridimensional, multitud de cubos similares hasta ocupar todo el espacio.

Cada uno de estos cubos que se repiten indefinidamente se conoce como celda unidad, y si los átomos se ordenan de esta caprichosa y estricta manera, lo hacen porque supone la forma más estable en que pueden presentarse.

Hemos visto cómo las partículas que forman los cristales se disponen de forma ordenada. Pero ¿se ordenan siempre de la misma manera? ¿Qué factores pueden influir en este ordenamiento? Y sobre todo... ¿pueden unas mismas partículas ordenarse de forma diferente en diferentes situaciones?



A pesar de las enormes diferencias entre esta débil y oscura punta de grafito con el más duro y brillante de los diamantes, ambos tienen la misma composición química: átomos de carbono.

mismo elemento puede organizarse formando otra estructura cristalina para dar lugar al diamante. A estos conjuntos de minerales que poseen exactamente la misma composición química pero difieren en su ordenamiento interno se les conoce con el nombre de polimorfos (procedente del latín, ‘varias formas’).

Para comprender la influencia de la estructura cristalina en las propiedades observadas a escala macroscópica, volvamos al patio utilizado como analogía en la pregunta anterior. Supongamos que los niños que antes jugaban ahora deben entrar al gimnasio para realizar una actividad en grupo. La maestra les da las instrucciones: deben unirse para formar una estructura que ocupe todo el espacio y que esté unida lo más fuertemente posible. Los obedientes alumnos se agarran de las manos y se distribuyen uniformemente por todo el espacio, para ello deben estirar sus brazos todo lo que puedan.

Ahora imaginemos que comienza a llover, y que un grupo de alumnos que permanecía en el patio entra al gimnasio. Los alumnos casi no caben, pero la maestra decide continuar con la actividad, repite las instrucciones y... los alumnos se abrazan, ahora no necesitan separarse demasiado para ocupar el espacio.

Si la maestra hubiera querido separar a los niños en la primera estructura, la que formaron antes de que comenzara la



Algunos satélites de los planetas exteriores están cubiertos por hielo. El comportamiento de esta capa es similar al de nuestra corteza terrestre y muy probablemente haya erupciones en forma de agua que añaden hielo a la superficie. El agua en estos mundos se comporta como el magma en la Tierra.

Otro ejemplo es el ópalo, que se clasifica como mineraloide debido a que carece de una estructura atómica ordenada. Está formado por microscópicas esferas de naturaleza vítrea que, estas sí, se empaquetan de forma geométrica, lo que le confieren unas bellas propiedades ópticas.

3. Que se haya originado por procesos inorgánicos. Aunque los minerales se forman normalmente por este tipo de procesos, existen importantes compuestos orgánicos que cumplen el resto de requisitos. Ejemplos de ello son la calcita de las conchas de los moluscos o el apatito de nuestros huesos y dientes.
4. Que tenga una composición química definida. De manera que pueda expresarse mediante una fórmula química específica, como: SiO_2 (cuarzo), $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ (dolomita), etc. Sin embargo, la mayoría de los minerales no son sustancias puras, sino que su composición oscila entre ciertos límites y, por lo tanto, no es fija. Por ejemplo en la dolomita suele detectarse un porcentaje variable de Fe y Mn en la posición del Mg.



Los granos de oro pueden acumularse en el lecho de determinados ríos. El tradicional bateo permite separar las pepitas de la arena gracias a la mayor densidad del preciado metal.

brillo metálico, razones por las que puede confundirse con el oro. Si bien es cierto que se trata de un mineral bastante pesado, su densidad es muy inferior a la del oro, propiedad esta que en manos expertas puede ser suficiente para diferenciarlo.

Los átomos de Fe y S que forman la pirita están organizados de manera similar al Na y Cl de la sal común (halita). Esta simetría cristalina cúbica se expresa externamente en forma de caras planas y perpendiculares, que muy frecuentemente dan lugar a cubos perfectos que causan gran impacto en quién los ve por primera vez.

Esta forma externa es conocida por los minerólogos como hábito mineral, y en el caso que nos ocupa es la propiedad más clara que nos permitirá diferenciarlo del oro, con un hábito generalmente informe.

Si las diferencias de densidad y hábito no nos resultan suficientes para discernir entre ambos minerales, retomaremos el color. A menudo el color observable a simple vista resulta poco fiable, puesto que pequeñas impurezas o alteraciones pueden



El tetraedro es un cuerpo geométrico formado por cuatro caras triangulares. En el caso de la sílice, cada vértice está ocupado por un átomo de oxígeno que se une a uno de silicio ubicado en el centro.

comienzan a crecer los cristales de yeso (CaSO_4); y cuando ya solo queda una décima parte del mar inicial, precipita la halita (NaCl).

Sin embargo, la mayoría de las montañas de caliza (roca monomineralica formada por el mineral calcita) se han formado en mares que no quedaron aislados. La calcita que las forma procede en su mayor parte de los restos de conchas de los organismos marinos y pequeños cristales de calcita que formaban un fango calcáreo posteriormente petrificado.

La calcita y el resto de materiales sedimentarios ocupan el 75 % de la superficie continental. Podría ser un candidato para hacerse con el título de principal ingrediente de las rocas, si no fuera porque esta capa que recubre el planeta supone menos del 5 % del volumen total de la litosfera. De forma general, bajo ella encontramos inmensos volúmenes de roca cuyo origen se encuentra en la cristalización de los magmas.

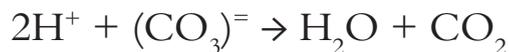
Un magma es un fundido formado mayoritariamente por moléculas de sílice. La geometría de esta molécula es la de un tetraedro, en cuyos vértices se sitúan cuatro átomos de oxígeno (O) y en el centro uno de silicio (Si), aunque una cantidad variable de estos últimos puede estar sustituido por aluminio (Al).



La corteza terrestre está cubierta por una variada gama de minerales que se originan por la interacción entre el aire, las aguas y la vida que recubren el planeta.

composición, el aragonito, que forma el nácar de bellas irisaciones y las perlas.

Una de las pruebas más populares para identificar a estos carbonatos consiste en añadir ácido a la muestra en estudio. Los ácidos aportan hidrógenos en forma iónica H^+ , que rompe los triángulos de carbonato con los que entra en contacto siguiendo la siguiente reacción:



El agua (H_2O) y el dióxido de carbono gaseoso (CO_2) son liberados y dan lugar a la característica efervescencia de ambos minerales.

La calcita es una de las especies más corrientes y el principal constituyente de extensas masas de rocas calizas. Sin embargo, existen otros minerales dentro de este grupo de los carbonatos.

La posición que hemos indicado para el calcio puede estar sustituida por cantidades variables de otros elementos. Es el caso del mineral dolomita ($CaMg(CO_3)_2$), en cuya estructura se alternan capas de calcio (Ca) y magnesio (Mg), combinadas con

III

PALEONTOLOGÍA

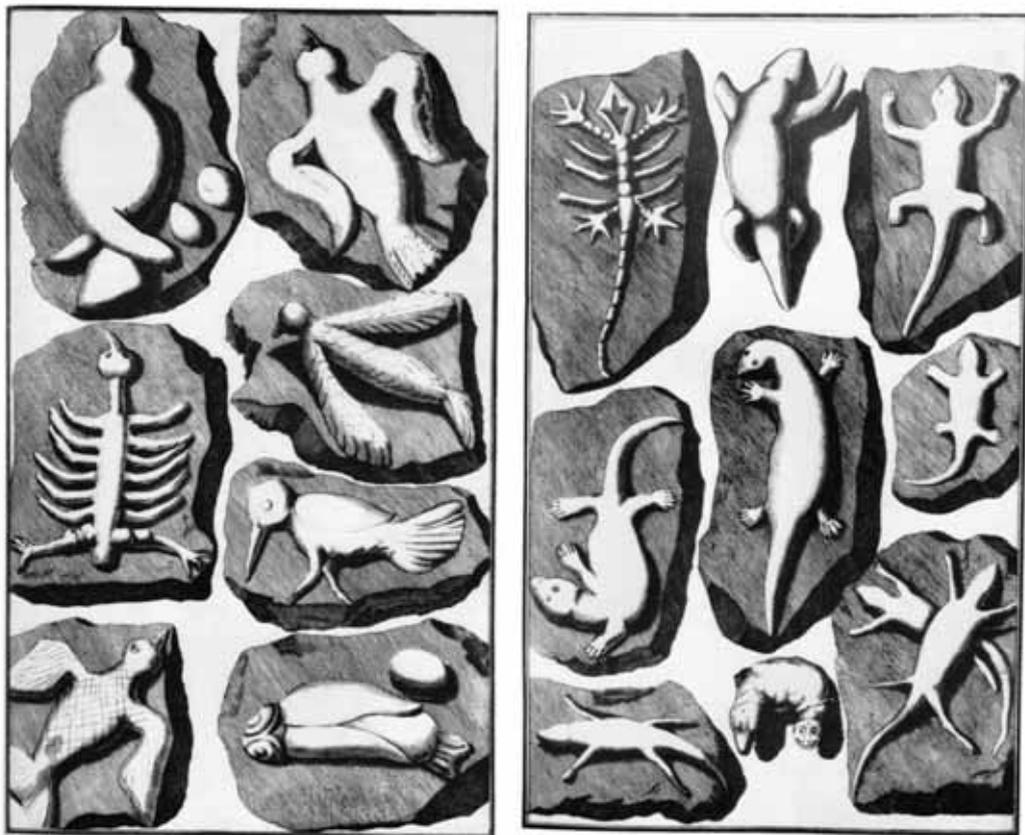
16

¿QUÉ SON LOS «CAPRICHOS DE LA NATURALEZA»?

Casi todo el mundo se ha fijado alguna vez en las curiosas figuras, con aspecto de conchas o plantas, que en ocasiones aparecen en las rocas que conforman el pavimento de aceras o la fachada de algunos edificios. Aunque hoy en día pueda parecer evidente, en la antigüedad estas formas no se relacionaban con seres que habían vivido en el pasado. Eran explicadas como imágenes engendradas en la tierra por una fuerza modeladora, o generadas de forma espontánea por semillas caídas de las estrellas.

Los romanos aplicaban el adjetivo *fossilis* a todos los objetos que hubieran sido desenterrados, desde un cristal de pirita a un diente de tiburón. Las rocas que tenían formas orgánicas no pasaron inadvertidas, pero eran consideradas como casuales o intentos abortados de producir vida. A estas rocas que no habían tenido la suficiente fuerza como para adquirir vida se las denominó de forma genérica «caprichos de la naturaleza».

Los fósiles eran considerados simples *lusus naturae*, es decir, ‘juegos de la naturaleza’. Incluso algunos llegaron a pensar



Lithographia Wirceburgensis, J. Behringer. A finales del siglo XVIII, en plena euforia por los descubrimientos en el registro fósil, el profesor Johann Behringer fue víctima de una de las bromas científicas más sonadas de la historia. En esta publicación suya se muestran algunos de los ejemplares que sus «amigos» prepararon para él.

que podrían ser inventos diabólicos, permitidos por el Creador para desconcertar a los hombres. Su origen se intentaba explicar a través de la idea de la generación espontánea, según la cual algunos animales podían nacer sin la necesidad de la existencia previa de unos progenitores.

Un ejemplo de la dificultad a lo largo de la historia para determinar la naturaleza de los fósiles son las rocas con abundancia de graptolitos (del griego *graptos*, ‘escrito’, y *lithos*, ‘piedra’). Estos fósiles fueron así denominados por su semejanza con los jeroglíficos, pero hoy sabemos que sus formas se deben a los esqueletos de pequeños organismos coloniales marinos ya extinguidos.

Durante siglos, el origen de los fósiles y su verdadero significado fueron objeto de gran interés y de acalorados debates

IV

ATMÓSFERA E HIDROSFERA

21

¿SE VIVE MEJOR SIN OXÍGENO?

En los años cincuenta del siglo pasado, un joven investigador quiso poner a prueba una idea que parecía descabellada. Con solo veintitrés años, el californiano Stanley Miller mezcló en un matraz diferentes gases (amoníaco, metano e hidrógeno) y les añadió agua. Después, lanzó pequeñas descargas eléctricas que simulaban rayos mientras un calentador evitaba que la mezcla se enfriara. De esta manera Miller estaba reproduciendo las condiciones que teóricamente se habían dado en la Tierra primitiva.

A los pocos días apareció en el recipiente una sustancia viscosa y rojiza, que resultó ser una pasta rica en aminoácidos, los «ladrillos» que forman las proteínas fundamentales para la vida. Este experimento demostraba por primera vez que las moléculas orgánicas, imprescindibles para la vida celular, podían aparecer por una reacción química espontánea a partir de procesos inorgánicos. Parecía que la ciencia había sido capaz de dilucidar uno de los mayores misterios de la naturaleza: el origen de la vida en la Tierra.



Aún hoy algunas bacterias fotosintéticas forman colonias en pequeñas cúpulas en las costas someras de los mares cálidos. La erosión nos muestra el crecimiento concéntrico de estos estromatolitos fosilizados.

atmósfera primitiva, y solo a partir de entonces podemos imaginar un cielo azul cubriendo al planeta como observamos hoy.

La adaptación de la vida al mundo oxidante se logró definitivamente con la aparición de enzimas capaces de utilizar el oxígeno en reacciones químicas beneficiosas. Las que permiten, por ejemplo, descomponer el azúcar para obtener una gran cantidad de energía de forma rápida y eficaz, mediante un proceso conocido como respiración celular.

Cuando posteriormente los niveles de oxígeno alcanzaron valores elevados en el aire, comenzó a formarse una nueva molécula: el ozono (O_3). Este gas, minoritario en la atmósfera actual, se produce de forma natural por alteración del O_2 en las capas altas de la atmósfera. Se concentra fundamentalmente a una altura de entre treinta y cuarenta kilómetros sobre el nivel del mar, pero incluso allí sus niveles son tan bajos que si lo aisláramos del resto del aire obtendríamos una finísima



Así fotografió el astronauta Bill Anders al planeta azul en la primera misión que alcanzó la Luna. La escasísima atmósfera de nuestro satélite hace que allí el cielo siempre aparezca oscuro. En el momento de la imagen el Sol se encontraría en la parte superior, fuera del encuadre.

coloración alguna, mientras que los tonos azules se intensifican al aumentar la profundidad en los mares.

Una buena limonada a la orilla de una idílica playa azul turquesa podría ser un magnífico plan para nuestras vacaciones de verano. Tal vez ese no sería el mejor momento para ponernos trascendentes, pero ¿qué pensaríamos si nos dijeran que el océano que contemplan nuestros ojos y hasta el agua de nuestra bebida son de origen extraterrestre?

Todavía se debaten las causas por las que hay más agua en la Tierra que en los cuerpos similares del sistema solar y no está claro su origen. Durante mucho tiempo se ha pensado que ríos y océanos son el resultado de la desgasificación de las sustancias volátiles del magma, de las que el agua es la más importante. A través de procesos como las erupciones

V

GEOMORFOLOGÍA

28

¿ES VERDAD QUE EL RELIEVE CAMBIA?

En la antigüedad la Tierra era considerada plana. La civilización griega mantuvo durante muchos años la idea de un mundo con forma de disco con Grecia en una posición central. Sin embargo, con el desarrollo de la navegación a vela se fue tomando conciencia de la curvatura del planeta. Por una parte, los navegantes que se dirigían hacia el sur se percataron de que existían constelaciones diferentes que antes no habían visto, a la vez que desaparecían las que normalmente divisaban desde sus hogares.

Anaximandro de Mileto entendió que esto era una evidencia de que la superficie terrestre era curva, de manera que al desplazarnos sobre ella podríamos observar diferentes sectores de la bóveda celeste. Para él la Tierra era un cilindro.

Posteriormente se tomó conciencia de que los barcos que salían de puerto iban desapareciendo de forma gradual: primero el casco y por último las velas más altas. Y como así ocurría independientemente de que los buques fueran hacia el sur, el norte, el este o el oeste, fue ganando crédito la idea de una Tierra curvada en todas direcciones, es decir, una Tierra esférica. Hoy



Muchas veces no somos conscientes, o podemos llegar a pensar que se trata de accidentes, pero nada escapa a la gravedad del planeta. Las tierras que forman las laderas siempre están tentadas a desplazarse hacia abajo y los esbeltos monolitos de dura roca no soportarán por mucho tiempo la verticalidad de su figura.

sabemos que no se trata de una esfera perfecta, pero casi. Y a esta forma idealizada, lisa y casi esférica del planeta la denominamos geoide.

Sin embargo, del mismo modo que la superficie de los mares presenta irregularidades a menor escala debido al oleaje, la superficie topográfica del planeta también es tremendamente escabrosa. El concepto *relieve* se emplea para denominar a todo aquello que se aleje de la superficie imaginaria de ese geoide ideal. Las elevaciones, depresiones, mesetas, cuencas, valles, cerros, montañas y cañones que se encuentran en nuestro planeta son parte del mismo.

La causa última de estas irregularidades debemos buscarla en el interior de la Tierra. Es el calor de origen interno el responsable del empuje que sufre la litosfera en contra de la gravedad y produce regiones con mayores elevaciones. Los procesos geológico asociados a esta energía son lentos y graduales a escala geológica, pero en ocasiones podemos percibirlos en forma de terremotos o erupciones volcánicas.



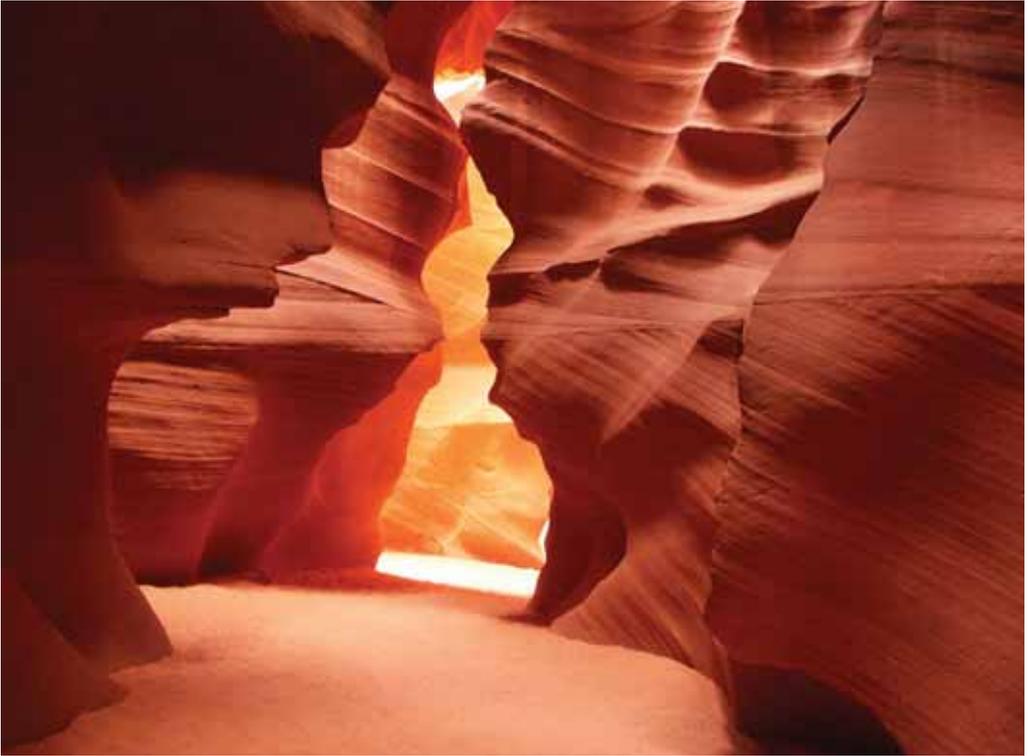
Parece inevitable que algunos relieves sirvan de escenarios para las más bellas historias creadas por los seres humanos. Desde mitos y leyendas hasta las películas más futuristas, la creatividad humana ha encontrado en las bellezas naturales la mejor inspiración para la mayoría de sus obras.

a la persistente erosión. Con el transcurso de unos cuantos milenios encontraremos que algunos tramos de aquel antiguo curso fluvial ocuparán la cima de una meseta volcánica, rodeada por valles excavados por los ríos actuales.

Por supuesto, estos procesos de erosión diferencial no son exclusivos de las regiones de origen volcánico. Un ejemplo, muy hollywoodiense también, lo encontramos en Monument Valley, una extensa región formada por estratos de origen sedimentario. Este valle es famoso por sus curiosos cerros de coloración rojiza, que permanecen como testigos de una extensa formación de resistente arenisca que fue depositada hace millones de años en un ambiente muy distinto al actual.

Esas estructuras, que se convirtieron en maravilloso telón de fondo de numerosas películas del género western, conservan la horizontalidad original con que se formaron los estratos. Sin embargo, esto no es lo más frecuente, dado que los mismos fenómenos internos que elevan las rocas estratificadas desde el fondo marino son capaces de deformarlas, lo que provoca que hoy las encontremos con geometrías muy diversas.

Los terrenos de origen sedimentario en que se alternan capas duras y blandas con una inclinación constante dan lugar a un



Afortunadamente los avisos meteorológicos y el sentido común nos evitan adentrarnos en determinados ambientes durante los días de inclemencias climáticas. Pero no por ello debemos imaginar que la actividad geológica que observamos en los placenteros paseos de verano es la responsable de algunos de estos rasgos geomorfológicos que socavan el paisaje.

Por otra parte, el incremento del caudal hace que también aumente la velocidad del flujo, lo que permite que partículas más grandes que la arena floten en la corriente. Los fragmentos mayores, que pueden permanecer inmóviles en el fondo durante la mayor parte del año, son demasiado grandes para ser transportados de esa forma, sin embargo se mueven mediante otros mecanismos.

A diferencia de la carga suspendida, esta fracción se traslada solo con caudales y velocidades propias de los desbordamientos fluviales, y por ello es la más difícil de estudiar. No obstante se conoce que estos cantos pueden ser arrastrados y rodados por el fondo o incluso dar saltos de varios metros, lo cual causa un efecto de molienda que es el principal responsable del trabajo erosivo dentro del cauce. Es por eso que en el curso de unos pocos días o incluso unas pocas horas en una etapa de inundación, una corriente puede erosionar y transportar más sedimento que durante los meses restantes del año.



«[...] no tenemos más que ensanchar nuestras ideas respecto a las cosas del pasado, observando lo que vemos en el presente, y comprenderemos muchas cosas que con una visión más estrecha aparecen aisladas en la naturaleza o sin una causa precisa; este es el caso de estos bloques de granito tan extraños al lugar en el cual están situados, y tan grandes que parece como si los hubiera transportado algún poder sobrenatural al lugar desde el cual vinieron».

Aunque estas palabras de Hutton pasaron desapercibidas, él fue capaz de adelantarse al profundo impacto que causarían los nuevos descubrimientos.

caracterizan por mostrar una buena estratificación y un orden interno reconocible.

Por otro lado, los naturalistas de aquella época se percataron de que bajo algunos de estos depósitos aluviales se encontraban otros, formados por fragmentos de muy diferentes tamaños y carentes de una estratificación rudimentaria. Tras estas observaciones, llegaron a la acertada conclusión de que aquellos montones de aspecto caótico que los campesinos franceses denominaban morrenas habrían sido puestos allí por agentes que por aquel entonces ya no actuaban en la región.

Estos agentes geológicos del pasado debían de ser los mismos que habían puesto en movimiento a los grandes bloques erráticos. Aquellos materiales fueron calificados como diluvianos, en referencia a una supuesta inundación catastrófica que imaginaron como responsable de aquellos depósitos. Diversos y refinados modelos recurrían a la acción de grandes olas y

VI

CICLO DE LAS ROCAS

35

¿CÓMO SE FORMA EL BASALTO?

Mefistófeles: Cuando Dios, el señor —bien conozco yo las razones—, nos hizo emigrar del aire a las más hondas profundidades, allá donde en el centro arde un fuego eterno, nos encontrábamos ante un excesivo fulgor, muy apretados e incómodos. Los diablos empezamos a toser todos a la vez, el infierno se inundó de hedor de azufre y ácido. Se formó un gas tan horrible que la corteza de la tierra de los continentes estalló, en todo su grosor. Ahora hemos pasado al otro extremo, lo que antes era abismo ahora es cumbre. [...]

Fausto: [...] Cuando la naturaleza se construyó a sí misma, el globo terráqueo tomo por sí mismo una perfecta forma redonda; luego se solazó creando picos y barrancos, luego plácidamente modeló las colinas y suavizó las pendientes en

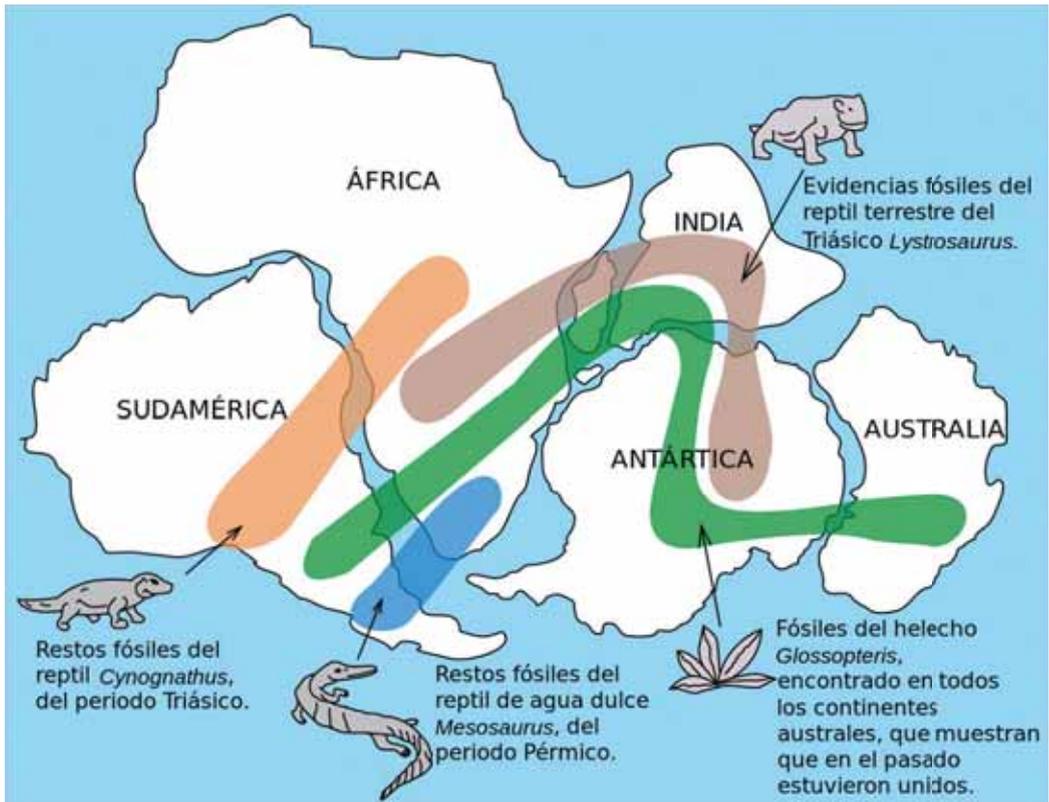


Muchos de los relieves más vistosos que nos rodean están formados por rocas calizas. Esta roca puede presentarse en distintas variedades, pero todas están formadas mayoritariamente por el mineral calcita, un carbonato que precipita como consecuencia de la presencia de CO_2 en las aguas.

sedimentarias compuestas fundamentalmente por carbonato cálcico, que reciben el nombre de caliza.

Este tipo de precipitado de calcita representa el 10 % del volumen total de todas las rocas sedimentarias. Un ejemplo son las estalagmitas depositadas en las cavernas cuando las gotitas de agua son expuestas al aire de la cavidad, parte del dióxido de carbono disuelto se escapa y causa la precipitación del carbonato cálcico. Otra variedad se produce en las aguas poco profundas de los mares cálidos. A partir de minúsculas partículas que son movidas por las corrientes en un continuo vaivén, se depositan capas sucesivas que dan lugar a pequeños granos esféricos denominados ooides.

De forma general las calizas que tienen un origen inorgánico se forman cuando los cambios químicos o las temperaturas elevadas del agua aumentan la concentración del carbonato cálcico hasta el punto de que este precipita. Algo similar ocurre con otro conjunto de rocas, las evaporitas, entre las que destacan la sal (cloruro sódico, NaCl) y el yeso (sulfato cálcico hidratado, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Estas rocas



La caprichosa distribución de algunos fósiles resultó un verdadero quebradero de cabeza para muchos científicos. Se propusieron diversas hipótesis para explicarlo, algunas tan atrevidas como suponer que los continentes habían estado unidos y se estaban desplazando.

una selva frondosa, asociada a un clima ecuatorial. También es posible inferir la existencia de casquetes helados si observamos superficies pulidas, aborregadas, sobre las que se aprecien estrías talladas por las rocas arrastradas en la base de los glaciares. Por su parte, los grandes depósitos de sal están dados por la existencia, en el pasado, de un mar incomunicado que recibía menos agua de la que se evaporaba, evidencias de un clima desértico.

Los estudios paleontológicos tienen también gran importancia para la interpretación de la historia climática. El conocimiento de las características desarrolladas por diferentes grupos de organismos fósiles permite interpretar las condiciones ambientales a las que se adaptaron.

Por su naturaleza algunos organismos no pueden vivir bajo determinadas condiciones climáticas. Este es el caso de los grandes reptiles, quienes tienen vetadas las regiones

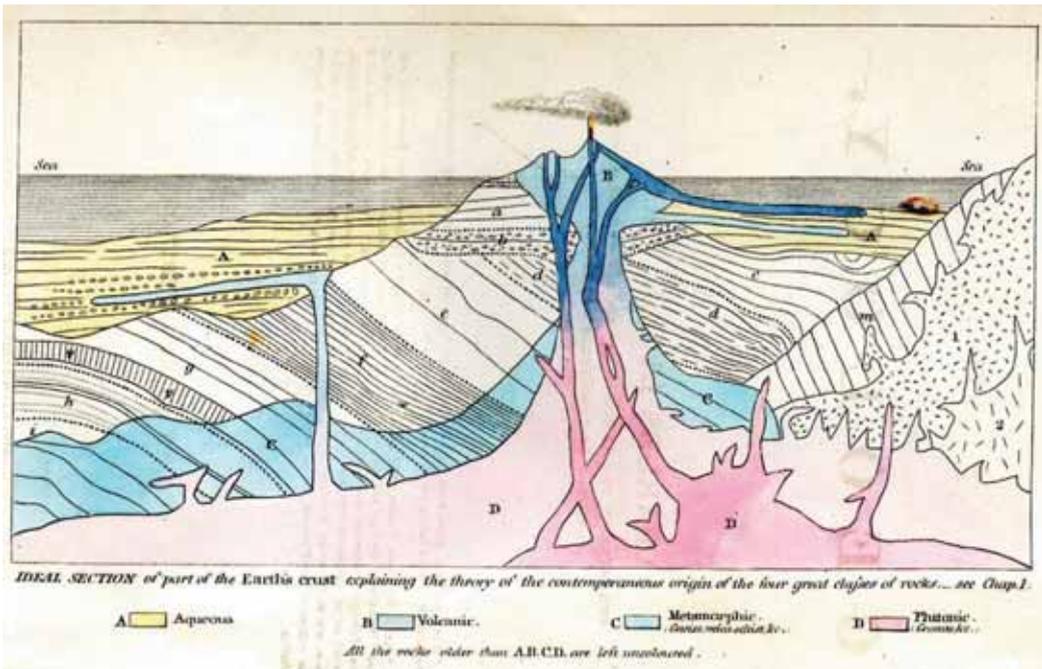


Al ser calentados los granos de maíz, el agua contenida en su interior se convierte en vapor, lo que hace que la presión aumente hasta explotar. Algunos no revientan debido a la ausencia de agua en su interior o a la presencia de fisuras en la corteza.

produce cuando el magma empieza a enfriarse y se inicia en él un proceso de cristalización fraccionada (inverso al de la fusión parcial), en el que los minerales con mayor punto de fusión comienzan a formarse.

Esta fracción sólida puede, inicialmente, distribuirse de forma homogénea dentro de la cámara magmática, pero existen diversos procesos por los que pueden separarse del magma residual. Por lo general los cristales de mayor densidad caen al fondo de la cámara magmática por diferenciación gravitatoria, proceso que puede combinarse con otros como el filtrado a presión que retiene los cristales en las fracturas por las que el magma escapa al verse sometidos a esfuerzos compresivos.

El magma resultante de esta segregación se conoce como magma secundario y se caracteriza por tener una composición química diferente a la del magma primario. Los primeros minerales formados son de composición ferromagnesiana, de manera que sustraen selectivamente estas sustancias químicas



Principles of Geology, Charles Lyell. Los magmas que se forman en el interior del planeta se desplazan hacia la superficie. Pero la mayor parte jamás la alcanza, lo que da lugar a intrusiones de muy diversa morfología.

Para que se forme un *sill*, el magma debe ser capaz de levantar los estratos suprayacentes, motivo por el que solo se originan en ambientes próximos a la superficie, donde el peso apilado es menor. A tan poca profundidad, desarrolla características muy similares a las coladas, como la disyunción columnar y la textura volcánica, pero ¿es posible diferenciar ambas estructuras?

La respuesta es sí. Recordemos que, durante su enfriamiento, la superficie superior de una colada no está en contacto con rocas, de manera que solo el estrato inferior se verá afectado por el calor de la lava. Por el contrario, un *sill* genera una aureola de contacto en ambas partes, lo que causa metamorfismo de contacto también en el estrato superior. Es frecuente que el magma que fluye por un *sill* se acumule en algunos lugares y cree un abombamiento de los estratos superiores. Este tipo de intrusiones de forma lenticular se conoce como lacolito.

Con todo, existe un tipo de intrusión que destaca entre las demás por su tamaño. Son aquellas que se forman por la

VII

RIESGOS Y RECURSOS GEOLÓGICOS

47

¿CUÁNTO DAÑO ME PUEDE HACER LA TIERRA?

Probablemente el mejor apelativo que podría ponerse a la Tierra es el de planeta vivo. Y no solo por la presencia de vida, sino también por la dinámica geológica que exhibe. Una parte de esta es consecuencia de la existencia de una atmósfera y una hidrosfera que son calentadas por la radiación solar. De esta forma se ponen en marcha los procesos externos como los vientos, la formación de nubes y el movimiento de las masas oceánicas. Mientras tanto, los procesos internos como los terremotos, los volcanes y la elevación de las cordilleras son el resultado de la energía aportada por el interior del planeta.

Estas dos fuentes de calor —el Sol y el interior terrestre—, con la colaboración de la gravedad, son la causa última de toda la actividad geológica de nuestro planeta. Cuando nuestras vidas se cruzan con algunos de estos procesos en la superficie terrestre, nuestra salud y nuestros bienes serán susceptibles de verse perjudicados.

El concepto científico que tiene como objetivo valorar y predecir estos daños es el riesgo. El origen etimológico de esta



El mayor uso de la madera como material de construcción hizo que varias ciudades ardieran en el pasado. Este incendio de San Francisco causó un gran impacto en su época y aún hoy es recordado como una de las mayores catástrofes del siglo xx.

Esta acomodación súbita de la deformación acumulada produjo el brusco desplazamiento en el plano de falla que liberó de forma repentina la energía acumulada durante largos períodos de tiempo.

Ese mecanismo se denomina rebote elástico, y podemos experimentarlo cuando rompemos un palo con las manos. Inicialmente el palo se dobla, pero cuando alcanza su límite de deformación elástica, se fractura de forma repentina, y la energía que hemos aplicado con nuestros brazos se libera bruscamente. En este caso, la energía se propaga en forma de ondas sonoras través del aire, de forma similar a como se propagan las ondas sísmicas a través del terreno. El lugar donde se produce la ruptura constituye el foco a partir del cual nacen las ondas. En el caso de los terremotos, este foco suele encontrarse a cierta profundidad y recibe el nombre de hipocentro.

Las ondas sísmicas se propagan en las tres dimensiones, como un globo que se infla, a través del interior terrestre. El primer punto de la superficie terrestre que estas alcanzan es, lógicamente, el que se encuentra en la vertical del foco, y



A lo largo de la historia muchas ciudades han quedado abandonadas dejando tras de sí grandes misterios. Pompeya no iba a ser menos, pero su final fue tan drástico que los últimos instantes que vivieron sus habitantes han quedado inmortalizados con una precisión inusitada.

Se trataba de personas, y a veces animales, que habían quedado sepultadas en vida y reflejaban con exhaustividad la agonía de aquella muerte imprevista. Todo había sucedido siglos atrás, cuando el vecino volcán Vesubio entró en erupción. Actualmente los investigadores han podido reconstruir con bastante exactitud aquel proceso eruptivo que destruyó una de las ciudades más bellas del Imperio romano: Pompeya.

Aquel verano del año 79 d. C. era completamente normal. Los ricos veraneantes disfrutaban como era habitual. Pero la mañana del 24 de agosto la tranquilidad de los pompeyanos iba a verse interrumpida. Acompañada por algunos seísmos, una inmensa nube eruptiva comenzó a formarse sobre el cráter.

A las pocas horas, algunos fragmentos empujados por el viento comenzaron a caer sobre las casas. Mientras el caos se apoderaba de las calles y algunos intentaban huir, las cenizas continuaron cayendo. La mañana siguiente el espesor acumulado en las calles y tejados era tal que muchas casas se habían derrumbado por el peso.



En las últimas décadas el antiguo cauce del Turia ha sido invadido por jardines, espacios deportivos, museos... Son ocho kilómetros para el goce de todos los ciudadanos que han contribuido a hacer de Valencia una de las ciudades más bellas del Mediterráneo.

colaterales como la muerte masiva de peces, la falta de alimentos o la pérdida de empleos y hogares.

Tradicionalmente el hombre ha desarrollado una serie de estructuras diseñadas para el control de las inundaciones, tales como embalses, diques o el desvío de cauces que hemos comentado. Sin embargo, muchas de las medidas más efectivas consisten en evitar nuestra intervención en el ciclo natural del agua. En este sentido, actividades como el sobrepastoreo y la deforestación influyen de manera nefasta en la capacidad de los suelos para absorber el exceso de escorrentía superficial, una infiltración que se ve prácticamente anulada en las ciudades por el exceso de pavimento.

Para la prevención tanto de inundaciones fluviales como de otro tipo (derivadas del deshielo o costeras producidas por temporales), resulta imprescindible conocer los eventos acaecidos en el pasado de la región. Los mapas de peligrosidad permiten realizar una correcta ordenación del territorio ubicando, por ejemplo, colegios y hospitales en cotas más altas y destinando mucha superficie de las zonas inundables a parques y jardines.



Grabado de Joseph Meyer. La vegetación del carbonífero ha sido la más exuberante que ha existido en el planeta. La cantidad de oxígeno debió de ser tan grande en la atmósfera que los incendios se producían con enorme facilidad. Los ejemplares mayores que aparecen en este grabado de 1890 son de la especie *Lepidodendron*.

montañas, el calor y la presión inducen una pérdida casi total de volátiles y agua que incrementa aún más la concentración de carbono. Son estos procesos metamórficos los que convierten a la hulla en antracita, una roca muy dura con un brillo característico. Aunque este tipo de carbón es el que más energía puede liberar y el que menos contamina, su uso ha sido menor que el de la hulla, que es más abundante y está presente en capas relativamente planas de más fácil extracción.

El carbón es por tanto un material fosilizado y, cada vez que lo quemamos, realmente estamos utilizando la energía solar que fue almacenada por seres vivos hace muchos millones de años, razón por la que se le considera un combustible fósil.

VIII

ESTRUCTURA DE LA TIERRA

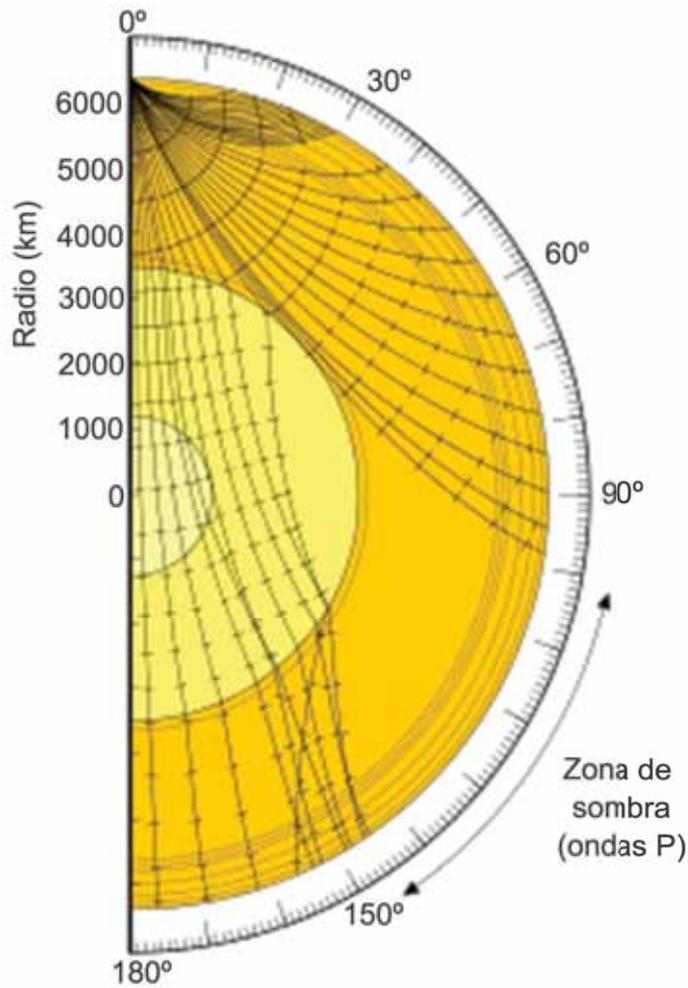
57

¿ES POSIBLE VIAJAR AL CENTRO DE LA TIERRA?

En los siglos XVIII y XIX, algunos escritores europeos imaginaron un planeta perforado por enormes cavernas que podían estar rellenas de múltiples sustancias como lava, agua o aire. En torno a esta idea surge el argumento de la famosa novela *Viaje al centro de la Tierra*, publicada en 1864, en la que sus protagonistas recorren diversas oquedades pobladas por seres increíbles, animales extintos y hombres gigantes; un mundo maravilloso al que pueden acceder a través de un volcán islandés.

Sin embargo, la idea de un inframundo habitado es casi tan antigua como la humanidad. Además del reino tenebroso del Hades descrito por los griegos, otras mitologías como la china imaginaron un interior repleto de enormes laberintos.

En tiempos más recientes, no solo ha servido de inspiración para la exitosa novela del francés Julio Verne, sino para muchas otras obras artísticas: desde el infierno subterráneo de la *Divina Comedia* de Dante hasta la última versión



Interpretar los sismogramas no es un trabajo especialmente sencillo. Los avances en geofísica, la mejora de la instrumentación y la ampliación de la red sísmica internacional han permitido descifrar las trayectorias y velocidades que llevan las ondas en su viaje por el interior terrestre.

seísmo, las ondas P emitidas llegaban con un mayor retraso respecto al tiempo esperado. La conclusión era clara: aquella gran esfera central del planeta provocaba una enorme ralentización en la velocidad de propagación de estas ondas.

Retomando nuestro ejemplo del terremoto en el polo sur, esto significa que, en zonas aún más alejadas del epicentro como Canadá o Alaska, las ondas P sí van a ser registradas, aunque lleguen mucho tiempo después de lo esperado. Y, aunque hasta ahora solo hemos hablado del registro sísmico en el alargado continente americano, al extender el análisis al conjunto del globo terrestre, observamos una inmensa zona de sombra anular en la superficie terrestre que se extiende

IX

TECTÓNICA DE PLACAS

64

¿EN QUÉ SE PARECE LA TIERRA A UNA MANZANA?

Señores, seamos serios. La realidad es muy sencilla [...]. No hay necesidad alguna de teorías confusas para comprender la geografía de la Tierra. Todos sabemos que nuestro planeta se enfría lentamente desde hace millones de años. A causa de este enfriamiento la Tierra se encoge, se contrae y se arruga como una manzana vieja. Ese es el origen de nuestros continentes, de nuestros océanos y de nuestras montañas. La Tierra se ha achicado lentamente al perder su calor. Esa es la única verdad científica... ¡Todo lo demás no son más que pamplinas!

Con este original discurso, el divulgador francés Didier Guille nos traslada al momento más álgido de una de las grandes controversias científicas de principios del siglo xx: el fijismo frente al moviismo.

Una vez superado el debate sobre la edad de la Tierra, la polémica se centró en otra de las grandes inquietudes de la geología: el origen de las grandes irregularidades topográficas del planeta, a saber, las depresiones oceánicas, las



Situar la cabeza sobre nuestros pies implica enormes dificultades en el diseño de la columna de los primates. Pero la evolución no está planificada y los inesperados cambios tectónicos terminaron por favorecer a aquellos individuos que podían pasar más tiempo en posición erguida.

como el Kilimanjaro y el monte Kenia, todas ellas de naturaleza volcánica.

Aunque este es el ejemplo más paradigmático del planeta, ese tipo de estructuras puede encontrarse en otras regiones del mundo. De hecho, a las fosas tectónicas flanqueadas por sistemas de fallas paralelas que hacen descender la parte central se las conoce también como graben, que en alemán significa ‘zanja’, debido a que la cuenca del Rin, que atraviesa gran parte de Europa, tiene una geometría y origen similares.

La formación de un graben y la existencia de volcanes en las zonas de *rift* ponen de manifiesto su desarrollo en un contexto de distensión litosférica que facilita la apertura de fracturas y permite la llegada del magma a la superficie. No obstante, este es un proceso que se retroalimenta, ya que del mismo modo que la distensión propicia los fenómenos volcánicos, también es esta actividad magmática uno de los principales responsables del nacimiento de un *rift*.



Las comodidades en el batiscafo Trieste no fueron la prioridad a la hora de que Augusto Piccard lo diseñara. El descenso a las Marianas fue realizado por su hijo Jacques, acompañado de Don Walsh. Sin duda, un paseíto no apto para cualquiera.

alargadas y relativamente estrechas que constituyen las regiones más profundas del océano. La fosa de las Marianas es la más célebre, pero existen muchos otros ejemplos, la mayoría ubicados en el mismo océano, como la de Perú-Chile o la de Japón.

Aunque estas fosas representan una pequeña porción del área del fondo marino, son estructuras geológicas muy significativas en la tectónica de placas. Recordemos que la litosfera oceánica, creada en las calientes dorsales oceánicas, flota sobre el resto del manto gracias a esta elevada temperatura y,



Algunas carreteras del Himalaya adentran sus enrevesadas curvas hasta las entrañas de la cordillera. Esta enorme mole de rocas separa el continente indio del resto de Asia y forma una frontera natural que es difícil de superar hasta para las aves más audaces.

puso fin a la subducción y dio comienzo a una nueva etapa denominada colisión continental.

Las fuerzas compresivas que se generan durante ese proceso dan lugar a la deformación del largo prisma de acreción y de las plataformas continentales. Las gruesas secuencias de rocas sedimentarias acumuladas en dichos ambientes son empujadas tierra adentro, causan una intensa actividad sísmica y llegan a alcanzar las superficies estables de ambos continentes. Esta removilización se alcanza a través de un apretado sistema de pliegues y fallas, así como el desplazamiento a lo largo de kilométricos cabalgamientos.

El apilamiento de materiales, junto al acortamiento de la litosfera producido por dichas fuerzas, da lugar a un engrosamiento de la misma, que podría llegar a ser hasta el doble de ancha y hacer que las capas inferiores profundicen y desarrollen un intenso metamorfismo a escala regional.

La raíz del continente puede alcanzar las condiciones de fusión parcial y formar así intrusiones de magmas graníticos. Estos, incapaces generalmente de alcanzar la superficie,

X

HISTORIA DE LA TIERRA

73

LA BIOGRAFÍA DE UN PLANETA ¿PUEDE SER ENTRETENIDA?

«Nadie puede bañarse dos veces en el mismo río, pues la segunda vez que nos bañamos el agua ya no es la misma». Esta imagen ilustra con claridad la visión acerca del cambio defendida por el filósofo griego Heráclito. Con este gran pensador surgió la idea de que todo es dinámico, nada es permanente en la realidad. El fundamento de todo está en el cambio incesante, un proceso de continuo nacimiento y destrucción al que nada escapa. Estos cambios hacen posible que existan las historias; desde las historias de las civilizaciones hasta las que suceden en la vida de una persona y, por supuesto, la historia de nuestro planeta.

En nuestras propias biografías existen momentos puntuales que de alguna forma han determinado algunos de los cambios que nos han ocurrido. Desde elegir iniciar una conversación con un desconocido con el que en el futuro formaremos una familia hasta rechazar un trabajo y quedar disponibles para después acceder a otro mejor.

ETIMOLOGÍA DE LOS PERÍODOS GEOLÓGICOS

(por Luis Collantes)

CENOZOICO	CUATERNARIO	Reminiscencia de la nomenclatura antigua (Era Primera, Secundaria, Terciaria y Cuaternaria)
	NEÓGENO	De "neos" (nuevo) y "genos" (nacido) ("recién nacido")
	PALEÓGENO	De "palaios" (antiguo) y "genos" (nacido) "lo más antiguo de lo reciente"
MESOZOICO	CRETÁCICO	Grandes acumulaciones de creta
	JURÁSICO	Macizo del Jura, al norte de los Alpes
	TRIÁSICO	De "Trias", por los tres materiales que componen este periodo (Buntsandstein, Muschelkalk y Keuper)
PALEOZOICO	PÉRMICO	Región de Perm, Rusia
	CARBONIFERO	Grandes acumulaciones de carbón a nivel mundial
	DEVÓNICO	Condado de Devon, al suroeste de Inglaterra
	SILÚRICO	Tribu celta de los Siluros, situados al sur de Gales
	ORDOVÍCICO	Tribu celta de los Ordovicos, situados al norte de Gales
	CÁMBRICO	De "Cambria", latinización de Cymru, nombre que daban los antiguos celtas a Gales

La curiosa etimología de los períodos geológicos del Fanerozoico (imagen elaborada por Luis Collantes).



Solemos asociar el apocalipsis con escenas catastróficas que ponen fin a una era. En el caso de las eras geológicas estas coinciden con extinciones masivas que, aunque rápidas en comparación con la historia de la Tierra, pueden durar varios millones de años.

cenozoicos que había estudiado. Sin embargo, al estudiar unos importantes afloramientos próximos a la ciudad de Maastricht, descubrió con sorpresa que el contenido fósil que allí pudo analizar no tenía ni un solo elemento común con los terrenos más recientes. La única solución que encontró fue imaginar una fuerte erosión que habría eliminado los estratos intermedios que contenían los fósiles de tránsito. Pero algo no cuadraba, todos aquellos materiales parecían haber tenido una historia geológica común.

Más de un siglo después, un paleontólogo norteamericano llamado Jack Sepkoski comenzó a contar el número de especies que aparecían a lo largo del Fanerozoico (único eón con un registro fósil abundante). Ya se sabía que por cada una de las especies que existen hoy en día otras miles podrían haber desaparecido, la mayoría de ellas al perder la competición diaria con otras formas de vida. Pero Sepkoski encontró algo muy interesante: grandes caídas en la curva de la biodiversidad que fueron denominadas extinciones masivas. Él y sus

XI

GEOLOGÍA REGIONAL

85

Y DESPUÉS DE PANGEA, ¿QUÉ?

A finales del Paleozoico, la reunión de todas las tierras dio lugar a la formación de Pangea, que dejó a su alrededor un enorme océano global conocido como Panthalassa. Uno de los rasgos más llamativos de aquella geografía fue un enorme golfo, ocupado por el mar Tetis, que separaba parcialmente el supercontinente en dos mitades: Laurasia al norte y Gondwana al sur.

Pero apenas formada, Pangea comenzó a dar señales de inestabilidad. El inmenso mosaico de continentes solo permaneció unido durante algunos millones de años; en el Pérmico Superior empezó a resquebrajarse y dispersarse hasta nuestros días. Este desmembramiento dejó desgarradoras fracturas que permanecen grabadas en los actuales márgenes continentales.

A finales del Triásico, Laurasia y Gondwana comenzaron a separarse. La fractura permitió que las aguas del Tetis se propagaran hacia el interior del continente y comenzó así la formación del Atlántico. Primero nació el Atlántico Central, que ya durante el Jurásico había comenzado a tener corteza



No cabe duda de que realizar una reconstrucción política de Pangea es un trabajo arriesgado. Algunos de los territorios que hoy forman los continentes ni siquiera habían emergido. Pero esta genial idea nos permite acercarnos a la asombrosa geografía descubierta por Wegener.

oceánica en sus fondos. Después, la fractura se extendió hacia el sur y hacia el norte, lo que hizo que el nuevo océano recorriera el planeta de polo a polo.

Esta fisura tuvo un papel protagonista en la historia de los vaivenes continentales, ya que África y Sudamérica habían permanecido juntas formando el núcleo de la gran Gondwana desde los tiempos precámbricos. A medida que las dos Américas migraban hacia el oeste, Panthalassa reducía su extensión hasta convertirse en el océano Pacífico y, mientras su fondo subducía bajo los continentes, grandes cordilleras como las Rocosas y los Andes se levantaban de forma progresiva.

XII

PLANETOLOGÍA

95

¿QUIÉNES NOS PUSIERON EN MOVIMIENTO?

Durante milenios se consideró imposible que la Tierra fuera redonda. Parecía lógico pensar que, si así fuera, las aguas marinas se escurrirían hacia los lados y caería hacia el abismo. Hoy en día existen algunos conspiranoicos que siguen imaginando un mundo plano y rodeado por una enorme barrera de hielos antárticos, pero, afortunadamente, muchos humanos han ido construyendo durante siglos un razonamiento coherente con las observaciones que nos ha permitido conocer el universo en que vivimos.

En cuanto nuestros antepasados dirigieron la mirada hacia el cielo nocturno comenzaron a asociar grupos de estrellas con elementos de su cultura. Los objetos, animales y personajes que imaginaban en la bóveda celeste dependían de sus mitos, leyendas y del entorno en que vivían; así fue como inventamos las diversas constelaciones.

Posteriormente, cuando los antiguos navegantes griegos empezaron a realizar grandes travesías hacia los mares del sur, se percataron de que algunas de estas constelaciones



Las grandes potencias económicas se han puesto de acuerdo para construir una estación espacial internacional. Se encuentra orbitando el planeta a unos cuatrocientos kilómetros de altura y desde su ventana pueden observarse de esta manera las montañas nevadas.

al que extendernos. Nos estamos quedando sin espacio. Ha llegado la hora de explorar otros sistemas solares. Nos encontramos en el umbral de una nueva era. La colonización humana de otros planetas ha dejado de ser ciencia ficción. Ahora puede ser ciencia de hecho.

Estas palabras fueron pronunciadas por el eminente cosmólogo británico Stephen Hawking a principios del siglo XXI. No sabemos si se cumplirán sus pronósticos. Quizás sea demasiado pesimista y el poder destructor de la humanidad no nos lleve a una situación del estilo de la película *Mad Max*, o quizás demasiado optimista y nuestro avance tecnológico jamás nos permita escapar de este sistema planetario, como sí sucede en la saga de *Star Wars*.

En cualquier caso, nos encontramos al final de este libro y, para celebrar que hemos llegado hasta aquí, vamos a añadir un poco de ficción a estas últimas páginas. Por un momento, imaginemos que nos encontramos en el futuro y

BIBLIOGRAFÍA

A continuación le recomendamos una serie de lecturas que se han utilizado como referencia y que le permitirán profundizar y complementar los temas expuestos.

ANGUITA, FRANCISCO. *Biografía de la Tierra. Historia de un planeta singular*. Madrid: Santillana Ediciones Generales, 2002.

Genial relato de geología escrito por uno de los más prolíficos y mejores divulgadores de esta ciencia en nuestra lengua. Este libro está estructurado como un viaje a través de la historia del planeta y tal como reza su contracubierta se trata de «una crónica de las búsquedas, peleas, éxitos y fracasos de quienes investigan la tierra entretejida con la descripción a veces maravillosos, a veces prosaicos, que han descubierto».

Una obra muy recomendable para continuar profundizando en esta ciencia y toda una fuente de inspiración y datos para quienes hemos escrito el presente libro. Pueden encontrarlo en la web (legalmente y con algunos comentarios y correcciones del autor) y en las bibliotecas.