

MEMORIAS DE LA TIERRA

La sorprendente historia de nuestro planeta

ELENA SANZ

Shackleton
— b o o k s —

Memorias de la Tierra. La sorprendente historia de nuestro planeta

© Elena Sanz, 2016.

© de esta edición, Shackleton Books, S. L., 2024.

Shackleton
— b o o k s —



@Shackletonbooks

shackletonbooks.com

Realización editorial: Bonal letra Alcompas, S. L.

Diseño de cubierta: Pau Taverna

Diseño: Kira Riera

Maquetación: reverté-aguilar

© Ilustraciones: Jordi Dacs

© Fotografías: todas las imágenes de este volumen son de dominio público excepto las de Vadim Sadovski/Shutterstock.com (p. 12); I. Pilon/Shutterstock.com (p. 15); a: Volodymyr Goinyk/Shutterstock.com, b: TonelloPhotography/Shutterstock.com y c: Jolanta Wojcicka/Shutterstock.com (p. 17); Ilustración basada en la de wzar.unizar.es (p. 23); Gemeinfrei/Wikimedia Commons (p. 27); Peter Hermes Furian/Shutterstock.com (p. 34); Ilustración a partir de la de espacio-geografico.over (p. 39); Designua/Shutterstock.com (pp. 41 y 135); *Nature* (p. 45); Ittiz [CC BY-SA 3.0]/Wikimedia Commons (p. 49); Andrey Yurlov/Shutterstock.com (p. 55); Damian Ryszawy/Shutterstock.com (p. 60); NASA/Wikimedia Commons (p. 68); a: La Gorda/Shutterstock.com y b: BlueRingMedia/Shutterstock.com (p. 74); NASA/JPL/Wikimedia Commons (p. 76); a: AlessandroZocc/Shutterstock.com, b: Number001/Shutterstock.com y c: Catmando/Shutterstock.com (p. 79); Scorpion451 [CC BY-SA 2.5]/Wikimedia Commons (p. 81); Splibubay [CC-BY-SA-3.0]/Wikimedia Commons (p. 88); Alinabel/Shutterstock.com (pp. 95 y 107); Natursports/Shutterstock.com (p. 97); Albert Russ/Shutterstock.com (p. 98); a: Andrea Danti/Shutterstock.com y b: Elenarts/Shutterstock.com (p. 102); Jens L. Franzen, Philip D. Gingerich, Jörg Habersetzer, Jørn H. Hurum, Wighart von Koenigswald, B. Holly Smith - plosone.org [CC BY-SA 2.5]/Wikimedia Commons (p. 111); Ilustración basada en la de mclibre.org (p. 115); Ilustración basada en la de *Understanding Earth*, John P. Grtozinger, Thomas H. Jordan, W. H. Freeman and Company, 2014 (p. 128); Splette, [CC BY-SA 3.0]/Wikimedia Commons (p. 131); Molekuul_be/Shutterstock.com (p. 151).

ISBN: 978-84-1361-311-6

Depósito legal: B 22327-2023

Impreso por EGEDSA (España)

Reservados todos los derechos. Queda rigurosamente prohibida la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento y su distribución mediante alquiler o préstamo públicos.

*«La Tierra es un lugar más bello para nuestros ojos
que cualquiera que conozcamos. Pero esa belleza
ha sido esculpida por el cambio: el cambio suave,
casi imperceptible, y el cambio repentino
y violento. En el Cosmos no hay lugar
que esté a salvo del cambio.»*

CARL SAGAN



CONTENIDO

Introducción	7
La historia geológica de la Tierra	11
Leyendo las rocas	19
Un planeta en constante transformación	27
Los supercontinentes	37
La Tierra «bola de nieve»	43
Los cambios del clima	52
La historia biológica de la Tierra	59
De LUCA a la fotosíntesis	66
Complejidad y cooperación	72
La explosión cámbrica y la diversidad de la vida	77
La Gran Extinción	87
Los dos grandes «bio-imperios»: dinosaurios y mamíferos	92
La rama de los primates	109
La historia química de la Tierra	123
El fundamental papel del agua	129
Gases para un planeta habitable	134
El elemento de la vida	144
Conclusión	159

Bibliografía general 163

Glosario 171

Introducción

Si pudiésemos sentarnos en una sala de cine a ver la biografía de la Tierra llevada a la gran pantalla, nos sorprendería la cantidad de vicisitudes que ha atravesado este planeta antes de convertirse en lo que es hoy: nació de una amalgama de rocas compactadas por la fuerza de la gravedad, vivió asfixiado sin oxígeno, luego se oxidó en exceso y eso supuso el envenenamiento de los microbios anaeróbicos, se congeló, a continuación se resquebrajó (varias veces), recibió el impacto de enormes meteoritos, su atmósfera se cargó de gases tóxicos por las erupciones de volcanes siberianos, sufrió importantes bochornos o calentamientos, se llenó de vida que estuvo a punto de desaparecer a causa de extinciones masivas en dos ocasiones y tuvo que empezar a repoblarse casi de cero... Ni al más imaginativo cineasta de películas de catástrofes se le ocurriría inventar una historia semejante. Y, sin embargo, la «canica azul» —apodo que recibe la Tierra por la icónica fotografía capturada desde el Apolo 17 en 1972— luce hoy como si hubiese llevado una existencia de lo más tranquila. De cada dificultad, el planeta que habitamos

ha salido airoso, encontrando ingeniosas soluciones que actualmente son objeto de estudio de la ciencia: la evolución de las especies, la fotosíntesis, el sexo, la tectónica de placas... Es difícil que la crónica de los trasiegos de la Tierra, basada en las pistas halladas hasta ahora por las diferentes disciplinas científicas, nos deje indiferentes.

Por supuesto, como toda historia biográfica, la de nuestro planeta tendría varias versiones posibles en función del guionista elegido para contarla. Para un experto en átomos, moléculas y reacciones químicas, lo más destacable de la trama sería la aparición del agua, la evolución de la atmósfera hasta convertirse en aire respirable, la versatilidad del carbono y su papel en la vida, el surgimiento del ozono... Por el contrario, un biólogo argumentaría que muchos de los hitos químicos han sido posibles gracias a seres vivos como las plantas verdes, que con su fotosíntesis eliminaron ingentes cantidades de dióxido de carbono de la atmósfera produciendo, a cambio, oxígeno a manos llenas. Y nada de esto habría sido posible sin el adecuado soporte geológico, asunto que dominaría sin duda la línea argumental o *storyline* de un experto en ciencias de la tierra. Y como a ninguno de los posibles narradores les faltaría razón, para que el lector no se pierda ni un detalle sobre la Tierra, en estas páginas contaremos su triple historia: química, biológica y geológica.

Eso sí, teniendo siempre presente que no es una historia cerrada y que, para reconstruirla, los científicos no pueden consultar un único tomo que narre linealmente todo cuanto ha acontecido en nuestro planeta hasta hoy.

En lugar de eso, se ven obligados a consultar fuentes de lo más variopintas, desde cilindros de hielo de varios kilómetros de altura extraídos de la Antártida hasta fósiles enterrados bajo montañas de sedimentos y desperdigados por todos los rincones del planeta. Con la dificultad añadida de que, además de estar geográficamente repartidos por todo el orbe, los rastros de la historia terrestre cuentan con importantes vacíos, párrafos completos no escritos. Por suerte, los avances de la radiactividad, la genética y las tecnologías de imagen médica, entre otros, facilitan cada vez más la ardua tarea de extraer y descifrar toda la información que han registrado durante millones de años estos testigos del pasado. E incluso permiten leer entre líneas para deducir qué podría haber en esos huecos.

También hay que advertir que hemos realizado un ineludible ejercicio de síntesis tratando de condensar 4600 millones de años en este volumen. Cualquiera de los acontecimientos y conceptos aquí expuestos merecería por sí solo no uno sino varios libros monotemáticos. Y, de hecho, se han escrito fantásticas obras de divulgación sobre los dinosaurios, la historia de los primates, la formación de la Tierra, los supercontinentes, el origen de la vida o la evolución del cerebro del ser humano moderno. Sería fabuloso que, después de la visión global que le ofrecerá esta lectura, le picase el gusanillo y empezara a devorar toda esa bibliografía para saciar su curiosidad. Aunque le avisamos de que, como decía la dramaturga estadounidense Dorothy Parker, la curiosidad es en cierto modo insaciable, y no se cura con nada.

Por otra parte, estamos seguros de que, en cuanto arranque la lectura, usted estará deseando verse en este film. Pero vaya haciéndose a la idea de que los humanos (*Homo sapiens*) no llegamos ni a la categoría de actores de reparto. Es más, si la cinta de la historia de la Tierra durase tres horas, nos correspondería una aparición fugaz en el último segundo.

Acción, drama, comedia, suspense... Todos los géneros cinematográficos se entremezclan en la trepidante existencia de nuestro planeta, en la que seguramente encontrará más de un giro inesperado. Luz (solar, por supuesto), cámara, ¡acción!

La historia geológica de la Tierra

Apertura en negro. Con un suave movimiento de *travelling*, nuestra cámara surca el espacio y avanza hacia una gigantesca nube de polvo cósmico que se colapsa sobre sí misma mientras algo arde en su centro. Es una nueva estrella, y estamos siendo testigos de su nacimiento. A su alrededor orbitan granos de polvo que pronto comienzan a colisionar unos con otros, como vehículos circulando en un circuito de karts con mucho tráfico y poco espacio para maniobrar. Los choques hacen que los minúsculos fragmentos se fusionen y el tamaño medio de los objetos que giran en el disco crece muy rápido. En un abrir y cerrar de ojos, los granos se transforman en rocas que dan vueltas y más vueltas alrededor del joven Sol, que es como se llama la estrella neonata. Aceleramos la secuencia a cámara rápida —a miles de años por segundo— para comprobar cómo, por efecto de la gravedad, el material rocoso se concentra y, al cabo de un millón de años, se empiezan a vislumbrar los primeros protoplanetas. Algunos de ellos continúan atrayendo cuerpos de sus alrededores y crecen hasta convertirse en los planetas hechos y derechos que hoy conocemos.

Si nos fijamos bien, veremos que de todos esos cuerpos en formación hay uno que llama la atención por su crecimiento relativamente rápido. Giramos la lente de la cámara con la que filmamos esta imaginaria película para hacer un *zoom* y observarlo de cerca. Salta a la vista que ese planeta está muy caliente. El calor se debe tanto a la compresión gravitacional de materiales como a los impactos constantes a los que está sometido. Además, el calor es el causante de la ligera niebla que lo rodea, formada por los gases volátiles que se evaporan y escapan al espacio. Mientras tanto, en su interior, el hierro y el resto de metales se derriten y, al ser tan densos, fluyen hacia el interior de la esfera, llenando su núcleo. Los materiales



La Tierra aún conserva un corazón de hierro parcialmente derretido a 6000 °C.

más ligeros siguen el camino contrario y se desplazan hacia la superficie para formar la corteza. Entre ambos, queda un manto de densidad intermedia. El planeta que ocupa ahora todo el encuadre no es otro que la actriz principal de esta historia: la Tierra, organizada en capas como una cebolla y que aún hoy conserva un corazón de hierro parcialmente derretido a 6000 °C, prácticamente la misma temperatura que la superficie del Sol. Tras este caldeado comienzo, la futura canica azul empieza a enfriarse.

La Tierra «neonata» estaba aún haciendo acopio de materiales cuando se produjo un importante sobresalto. Las últimas investigaciones sugieren que un cuerpo del tamaño del planeta Marte chocó contra ella. Fue una colisión tremenda, y no solo destruyó una parte importante del planeta, sino que también estabilizó su eje de rotación e incorporó nuevo material. Y lo que es más interesante: la mayor parte de los escombros lanzados al espacio en el impacto se reunificaron no muy lejos del planeta hasta adquirir la forma de su compañera inseparable: la Luna. Un satélite que, como revelaron las muestras de rocas traídas por las misiones Apolo de la Agencia Espacial Estadounidense (NASA), está absolutamente deshidratado y es mucho más pobre en hierro que la Tierra. ¿Dónde fueron a parar el hierro y el agua lunares? Lo cierto es que en el material desprendido tras el choque apenas había hierro, porque el impacto no alcanzó el núcleo terrestre, que es donde se concentran los metales. Los escombros procedían del manto y la corteza. En cuanto al agua, la

energía del impacto generó suficiente calor para que casi todos los elementos volátiles se evaporaran y se perdiesen en el espacio. En lo que respecta a la procedencia del material lunar, los primeros cálculos indican que la mitad provenía de la Tierra original y la otra mitad de ese otro cuerpo, llamado Theia; es decir, una mezcla al 50 %.

Después de aquello, aún hubo otro período clave para configurar el planeta que hoy conocemos. El magma y los gases que afloraban a la superficie por la actividad volcánica de la Tierra dejaron escapar poco a poco dióxido de carbono, vapor de agua y otros elementos que formaron la atmósfera y los océanos, tan necesarios para la vida. Y el resto del agua y los gases del planeta azul llegaron a bordo de los grandes meteoritos que lo vapulearon en sus primeros años de existencia, durante otra ajetreada etapa conocida como Bombardeo Intenso Tardío.

¿Pero cuándo sucedió todo esto? Es evidente que los geólogos no tienen ninguna partida de nacimiento para la Tierra que ofrezca una respuesta fácil a la pregunta. Si han logrado calcular la edad del planeta es gracias a los meteoritos. Los materiales que forman los planetas del sistema solar han sufrido transformaciones bastante drásticas en todo este tiempo, pero los meteoritos están formados por rocas del sistema solar primigenio que quedaron apelmazadas, flotando en el espacio, y que nunca llegaron a derretirse ni a sufrir cambios importantes. Por lo tanto, se puede decir que se conservan intactas, tal y como eran cuando el sistema solar vino al mundo. En concreto, a partir de la troilita (mineral de sulfuro de



Fragmento del meteorito del Cañón del Diablo (Arizona). Con restos como este, el geoquímico Clair Patterson pudo calcular en 1956 la edad de la Tierra.

hierro) del meteorito del Cañón del Diablo (México), el geoquímico Clair Patterson calculó en 1956 que la edad de la Tierra es de 4550 millones de años —corregida hace poco a 4 543 millones—. Y el impacto con Theia tuvo lugar hace aproximadamente 4510 millones de años.¹

Otros importantes aliados a la hora de estudiar la composición de la Tierra primitiva son los circones. Estos pesados minerales terrestres son capaces de soportar millones de años de vicisitudes y conservar su composición original incluso después de haber sido arrancados

¹ D. Young, I. E. Kohl, P. H. Warren, D. C. Rubie, S. A. Jacobson, y A. Morbidelli, «Oxygen isotopic evidence for vigorous mixing during the Moon-forming giant impact», *Science*, 2016.

La historia del planeta grabada en hielo, árboles y corales

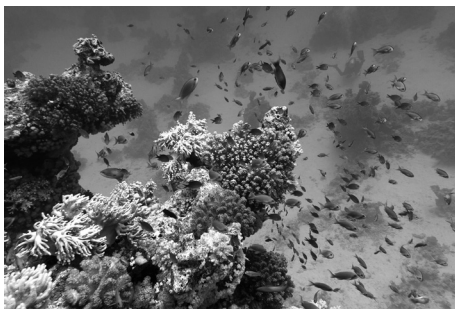
Para estudiar los climas pasados no solo contamos con las rocas y las capas de sedimentos del fondo de los océanos. Las burbujas de aire atrapadas en el hielo polar se han convertido en un interesante recurso para estudiar la evolución del clima terrestre en el pasado. Es más, recientemente los científicos han identificado regiones de la Antártida que, en un cilindro helado de 3 kilómetros de largo, podrían almacenar información sobre el clima del planeta y los gases de efecto invernadero de hace 1,5 millones de años.

Tampoco hay que menospreciar la utilidad de los árboles. La ciencia de la dendrocronología ofrece un método de datación basado en el estudio de los anillos de un tronco. Parte de la premisa de que los árboles aumentan su diámetro sumando al tronco una capa clara (madera de primavera) y otra oscura cada año. El grosor de cada banda depende de la pluviosidad, la temperatura, el grado de insolación, la duración e intensidad de las heladas, etcétera.

Otro registro natural muy jugoso para los paleoclimatólogos es el que ofrecen las capas de crecimiento de los corales. Los caparzones de calcio que protegen a estos parientes de las medusas se desarrollan en capas superpuestas. Y esas capas relatan lo acontecido en la historia del coral –y de las aguas en que habita– durante miles de años. Eso es posible porque la velocidad de crecimiento varía en función de la temperatura, la composición del agua y la salinidad. Incluso hay un geólogo sueco, Johann Nyberg, que estudiando los corales del Caribe ha establecido una curiosa relación: cuanta más

dureza, más frecuencia de huracanes tropicales. Si está en lo cierto, el siglo más huracanado de los últimos 5000 años fue el XVIII. ☉

El estudio de las burbujas de agua atrapadas en el núcleo del hielo polar, de los anillos de un tronco y de las capas del coral puede ofrecer información de gran interés a los paleoclimatólogos.



con violencia de su roca, incorporados en piedras nuevas, calentados o sometidos a brutales presiones. Tanto es así que el fragmento más antiguo del planeta identificado hasta la fecha ha resultado ser, precisamente, un diminuto cristal de circón. Se encontró en la región de Jack Hills, en Australia Occidental, y aunque durante un tiempo se ha cuestionado si realmente era tan antiguo o si había un error en la datación con isótopos radiactivos, un nuevo método mucho más preciso ha disipado todas las dudas. En concreto, varios científicos de la Universidad de Wisconsin (EE.UU.) han empleado una técnica de tomografía con sonda nuclear que permite contar uno a uno los átomos dentro de los circones. Y el recuento confirma definitivamente que el cristal ya estaba en el planeta cuando este era un «bebé» de solo 200 millones de años de edad. Todo apunta a que el fragmento de circón se formó hace 4400 millones de años en una corteza relativamente fría bajo un océano líquido. Por lo tanto, la Tierra se enfrió de forma drástica en mucho menos tiempo del que pensábamos. La Tierra joven era fría y húmeda.

Con todo esto ya tenemos el comienzo de un prometedor *storyboard* del planeta que habitamos. ¿Y ahora qué? Toca dirigir la atención al mejor archivo documental con el que cuentan los guionistas de la biografía terrestre para saber qué ha pasado desde que la Tierra nació hasta hoy: las rocas. Estos agregados de minerales y otros materiales sólidos están repletos de historias. Si la seductora actriz Marilyn Monroe aseguraba que los diamantes eran los mejores amigos de las mujeres, nosotros podemos

afirmar que todas las piedras, sean o no preciosas, son las más fieles amigas de los geólogos.

Leyendo las rocas

El depósito de materiales desprendidos de las rocas y transportados por el agua, por el viento o por glaciares en movimiento hasta una nueva ubicación da lugar a las rocas sedimentarias. La mayoría están formadas por arcillas que, a través de distintos procesos, se comprimen, se endurecen y forman piedras consistentes. Dado que se forman capa a capa, las rocas sedimentarias funcionan como un calendario cuyas páginas (estratos) se disponen perfectamente ordenadas, de la más antigua a la más moderna. Se pueden plegar, doblar e incluso incrustar unas en otras, pero siempre es posible reconstruir cómo estaban antes de las transformaciones analizando las bandas de sedimentos. La principal importancia de estas rocas reside en que, durante su formación, atrapan los restos petrificados de seres vivos que murieron hace millones de años, los fósiles. Gracias a la interpretación de los fósiles, el ser humano ha comprendido que, a lo largo de la historia de la Tierra, una ingente cantidad de especies y familias de seres vivos han surgido, han pasado un tiempo en los continentes o en los océanos y después han desaparecido. A veces se han esfumado de forma masiva, en extinciones globales causadas por catástrofes como la colisión de cometas y asteroides o los cambios

Las rocas del cinturón Nuvvuagittuq

Para tocar con nuestras propias manos las rocas más antiguas del mundo, habría que desplazarse hasta el norte de Quebec, en Canadá. Allí, en un área de la costa de la bahía de Hudson conocida como cinturón Nuvvuagittuq, a más de 32 kilómetros de Inukjuak, la población más cercana, existen pedruscos de color verde que se formaron en el eón Hadean, cuando la Tierra era un jovencísimo planeta con apenas 300 millones de años. Es decir, tienen nada menos que 4280 millones de años de antigüedad. No es de extrañar que, desde que varios científicos de la Universidad McGill (EE.UU.) anunciaron su descubrimiento en la revista *Science* en 2008, esta región, que antes solo visitaban los caribúes, se haya convertido en un lugar de culto para los geólogos. Para averiguar su edad se empleó una técnica de datación con isótopos basada en el neodimio-142, un elemento que solo puede emplearse para datar rocas con edades por encima de los 4100 millones de años. ☺

dramáticos en el clima global. Pero en la mayoría de esos casos, después de la crisis, se ha producido una proliferación rápida y tremenda de la flora y la fauna que ha dado origen a especies nuevas y diferentes.

Que las rocas sedimentarias sean las principales fuentes de fósiles no significa que haya que menospreciar a otras rocas con un origen distinto. Por ejemplo,