

New Scientist

El sistema Tierra

La guía definitiva del mundo
que llamamos nuestro hogar

Traducción de Dulcinea Otero-Piñeiro



Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *This is Planet Earth. Your Ultimate Guide to the World We Call Home*

Revisión científica de la traducción:

David Galadí-Enríquez, doctor en física

Diseño de colección: Estrada design

Diseño de cubierta: Manuel Estrada

Fotografía de Javier Ayuso

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaran, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.

Copyright © New Scientist 2018

© de la traducción: Dulcinea Otero-Piñeiro, 2023

© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 2023

Calle Juan Ignacio Luca de Tena, 15

28027 Madrid

www.alianzaeditorial.es



ISBN: 978-84-9181-913-4

Depósito legal: M. 26.305-2022

Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: alianzaeditorial@anaya.es

Índice

9	Colaboradores invitados
11	Introducción
15	1 Años de formación
40	2 El gran abismo del tiempo
64	3 Por dentro y por fuera
94	4 Placas, sismos y erupciones
120	5 Ideas cambiantes
143	6 Atmósfera, clima y tiempo
182	7 Océanos
205	8 Vida
226	9 Bienvenidos al Antropoceno
242	10 Cambio climático
278	11 Conclusión
282	50 ideas con los pies en la Tierra
299	Glosario
302	Créditos de ilustraciones
303	Índice analítico

Colaboradores invitados

David Cromwell escribe sobre las corrientes oceánicas en el capítulo 7. Fue investigador del Centro Nacional de Oceanografía de Reino Unido en Southampton, y en la actualidad ejerce como cofundador de los análisis de audiencias de la página en internet.medialens.org.

John Gribbin presenta la estructura de la atmósfera en el capítulo 6. Es profesor visitante de astronomía en la Universidad de Sussex, Reino Unido, y autor de numerosos libros, entre los que figura la obra *Planet Earth: A Beginner's Guide* (2012).

Susan Hough es sismóloga del Centro Sismológico del Sur de California y miembro de la Unión Geofísica Americana. En el capítulo 4 expone lo que sabemos sobre los terremotos y su predicción.

Jeff Masters aborda la meteorología extrema en el capítulo 6. Es cofundador del servicio de información meteorológica digital Weather Underground, donde ejerce como director de meteorología.

David Rimmer es profesor emérito de edafología de la Universidad de Newcastle, Reino Unido. Presenta el apartado dedicado al suelo en el capítulo 3.

Toby Tyrrell describe las flaquezas de la hipótesis de Gaia en el capítulo 8. Es profesor de ciencias del sistema Tierra en la Universidad de Southampton, Reino Unido, y autor de la obra *On Gaia: A Critical Investigation of the Relationship between Life and Earth* (2013).

Peter Ward es profesor de biología en la Universidad de Washington, en Seattle (EE. UU.), y autor de la obra *The Medea Hypothesis: Is Life on Earth Ultimately Self-Destructive?* (2015). Analiza la hipótesis de Gaia en el capítulo 8.

Gracias también a los siguientes autores: Anil Ananthaswamy, Colin Barras, Stephen Battersby, Catherine Brahic, Sue Bowler, Stuart Clark, Andy Coghlan, Philip Cohen, Daniel Cossins, Richard Fifield, Linda Geddes, Shannon Hall, Jeff Hecht, Bob Holmes, Joshua Howgego, Ferris Jabr, Victoria Jaggard, Graham Lawton, Michael Le Page, Rick Lovett, Myles McLeod, Michael Marshall, Katia Moscovitch, Rachel Nowak, Sean O'Neill, Stephen Ornes, Jheni Osman, Fred Pearce, Kate Ravilious, Christina Reed, Eugenie Samuel Reich, David Shiga, Colin Stuart, Richard Webb, Sam Wong y Marcus Woo.

Introducción

La Tierra es un lugar asombroso. Tal vez no nos lo parezca cuando miramos por la ventana y pensamos en lo normal que resulta todo, pero si se estudia más de cerca, como hacen los científicos, descubrimos cosas sorprendentes; cosas que quizá nos cueste creer. En ciertos momentos este planeta fue una masa incandescente de roca fundida y una bola de nieve gigantesca. Hubo un tiempo en que el Ártico albergó temperaturas tropicales, y todo el mar Mediterráneo se secó por completo hasta volver a rellenarse con la mayor de las inundaciones.

Incluso ahora dependemos de maravillas imperceptibles a diario. El planeta está resguardado de los perniciosos rayos ultravioletas por un escudo invisible, mientras que otro blindaje lo mantiene a salvo del torrente de partículas energéticas que emanan del Sol. El acogedor clima que tenemos es un prodigio en sí mismo, controlado por la naturaleza de los suelos, la ventilación de los océanos, la

reflectividad de las nubes, la formación y erosión de las rocas, y las erupciones volcánicas que emiten gases que sirven tanto para enfriar como para calentar el planeta.

Y luego está el verdadero portento: la vida. Tal vez le parezca que usted (como representante de los seres vivos) no tiene nada de excepcional. Pero a una escala cósmica simplemente no es así. Usted nació en el único planeta del universo donde sabemos que existe la vida y, ciertamente, el único lugar con organismos que leen libros.

Otro detalle que hay que tener presente es que la vida no habita en la Tierra, sino que forma parte de ella. La importancia del suelo para suavizar el clima se debe a los microbios. Y las nubes reflejan más luz del Sol al espacio cuando los microbios que residen en la alta atmósfera las vuelven más blancas. Incluso algunas rocas de la corteza exterior del planeta están formadas por el cuerpo de criaturas desaparecidas hace mucho tiempo.

La Tierra no es tan solo una roca gigante suspendida en el espacio, sino una máquina en la que los seres vivos interactúan con la geología, el agua, el hielo y la atmósfera. Todo está interconectado. *El sistema Tierra* ofrece una introducción para entender mejor todas estas cosas y cómo encajan entre sí.

Los dos primeros capítulos se dedican a la formación y la historia de la Tierra, y nos guían desde su primera aparición dentro de una nube de gas que giraba alrededor del joven Sol hasta el tsunami que separó Gran Bretaña del resto de Europa. El capítulo 3 se centra en la estructura del planeta. En él viajaremos desde la superficie, con su cubierta de suelo dadora de vida, hasta su compacto núcleo de hierro. Los capítulos 4 y 5 desarrollan la idea de

la tectónica de placas, la cual nos ha permitido entender mucho mejor cuestiones como los terremotos, el termostato planetario y el desplazamiento futuro de los continentes.

Los capítulos 6, 7 y 8 analizan distintas «esferas» del planeta, empezando por la atmósfera. El ser humano pasa la mayor parte del tiempo en la capa respirable más baja, donde existe la vida y tiene lugar la meteorología, pero también realizamos incursiones a la frontera que nos separa del espacio. Para conocer la hidrosfera nos zambullimos en los océanos y examinamos las bombas descomunales que impulsan las corrientes globales. Por último, en la biosfera buscaremos las claves sobre cómo surgió la vida y cómo ha influido en el planeta desde entonces.

Para terminar, nos centraremos en la incidencia que ha tenido la humanidad en los sistemas de la Tierra. El capítulo 9 presenta el Antropoceno, la época geológica que se ha denominado así para reconocer el gran impacto que el ser humano ha tenido en el orbe. El capítulo 10 trata sobre el mayor desafío conocido en la actualidad para la existencia de la vida: el cambio climático; en él comprobaremos qué sabemos y cuáles son las lagunas de nuestro conocimiento, y nos plantearemos si podemos enderezar las cosas.

Ojalá este libro cambie la idea que tenemos sobre la Tierra para que nunca más volvamos a verla como algo normal. Quién sabe..., ¡tal vez hasta haya alguien que llegue a maravillarse!

Jeremy Webb

1. Años de formación

La Tierra y la Luna nacieron del caos. El calor y la violencia imperantes en el Sistema Solar temprano conspiraron para rodear de misterio gran parte de los primeros años de la Tierra. Entonces, ¿qué sabemos y qué no sabemos sobre la manera en que evolucionó para convertirse en el planeta dinámico que conocemos hoy, un lugar perfecto para el desarrollo de la vida?

Un hogar único en el universo

Muy rara vez sucesos ordinarios producen resultados excepcionales. Pero eso es lo que ocurrió 4600 millones de años atrás en un brazo insignificante de una galaxia espiral corriente y moliente.

Una nube inmensa de gas y polvo empezó a colapsarse en una bola densa de materia. A medida que la gravedad atraía hacia ella más y más materia, iba aumentando la tem-

peratura y la presión en su núcleo, hasta que llegó un momento en que prendió la fusión nuclear. Aquello liberó cantidades ingentes de energía y puso en marcha el nacimiento de una estrella.

Desconocemos qué fue lo que inició aquel proceso, pero había ocurrido un sinnúmero de veces con anterioridad, y aquella estrella no tenía nada de especial en sí misma.

A medida que el astro recién nacido empezó a girar, otros objetos menores se fueron concentrando a su alrededor. Moléculas de gas y partículas de polvo se fundieron y crearon objetos del tamaño de rocas, las cuales chocaron entre sí y formaron peñascos que entonces no eran más que «planetesimales». El aumento de la gravedad atrajo más materia aún y generó versiones fundidas y muy calientes de los planetas que conocemos hoy.

Así se gestaron ocho planetas, y en el tercero más próximo a la estrella ocurrió algo verdaderamente singular. Se dieron las condiciones adecuadas para el surgimiento y el florecimiento de la vida. Con el paso del tiempo evolucionó vida inteligente en forma de seres capaces de preguntarse cómo se había formado su planeta y cómo llegó a generar vida. Esos seres denominaron «Sistema Solar» a su vecindario celeste, bautizaron como «Sol» a aquella estrella y llamaron «Tierra» a su planeta.

Enigmáticos comienzos

Este fue, al menos, el panorama general. Por lo común se admite que la «hora cero» del Sistema Solar se sitúa en 4567 millones de años atrás, y que hace unos 4550 millo-

nes de años ya se había aglutinado en torno al 65 % de la Tierra.

El Sistema Solar primigenio era un lugar muy energético y dinámico. Durante sus primeros cientos de millones de años abundaron las colisiones, y la Tierra sufrió un trato bastante rudo. Unos 4530 millones de años atrás, justo cuando empezaba a secarse la pintura sobre la faz infantil de la Tierra, irrumpió el desastre. El planeta recibió el impacto oblicuo de un objeto del tamaño de Marte. El golpe lanzó escombros hasta la órbita de la Tierra y dio lugar a la Luna, y la energía del choque fundió las capas superiores del planeta, lo que borró por completo cualquier registro geológico previo. El silicio vaporizado que no pasó a formar parte de la Luna se condensó y volvió a caer en la superficie de la Tierra en forma de lluvia de lava, lo que depositó un mar de roca fundida. La Tierra acabó fundiéndose hasta el núcleo, y volvió a dar comienzo desde el principio todo el proceso de formación de una superficie sólida.

Esta interpretación de cómo se formó la Luna no es la única que existe, tal como veremos más adelante. Pero parece seguro que la violencia continuó y que solo finalizó con un vapuleo continuado ocurrido entre 4100 y 3800 millones de años atrás, un periodo conocido hoy como el «bombardeo intenso tardío» y cuya virulencia y duración también se siguen debatiendo aún.

La enorme violencia de estos sucesos es una de las razones por las que existe una inmensa laguna en nuestro conocimiento de los primeros 500 millones de años de la Tierra, un eón llamado Hádico en honor a Hades, el dios griego del inframundo. A partir de tan poco en lo que ba-

sarse, los especialistas proponen explicaciones que encajen lo mejor posible con los indicios que tenemos: lo que sabemos a partir de nuestros conocimientos de física y química, los resultados de experimentos prácticos, la observación de otros objetos astronómicos y simulaciones por computadora.

Ahora mismo se está investigando para responder muchos de nuestros interrogantes, y continuamente hay nuevos hallazgos, observaciones y modelos. Lo que creemos saber se ve cuestionado constantemente por esos datos frescos. Así que la historia que proponen los científicos va cambiando.

Entre las preguntas que aún no se han resuelto figura la de cómo consiguió la Tierra acumular tanta agua. Su cercanía al Sol seguramente la convirtió en un lugar demasiado tórrido para que el agua se limitara a condensarse a partir de la nube de gas cuando se formó el planeta. En cualquier caso, es muy probable que el agua que lograra acumular se evaporara durante la titánica colisión que dio lugar a la Luna. Una posible explicación es que el agua llegara con posterioridad, a lomos de cometas y asteroides helados procedentes del Sistema Solar exterior, durante el periodo del bombardeo intenso tardío.

Otra cuestión sin resolver es cuándo se formó la corteza terrestre. La corteza actual se compone casi en exclusiva de rocas que no superan los 3800 millones de años de edad, de modo que las pocas trazas del Hádico infernal que pueda haber en el suelo son escasas. Y el calor y la presión se encargaron de alterar la mayoría de las rocas antiguas que han quedado. La buena noticia es que unos cristales minúsculos y resistentes llamados circones podrían tener gran

antigüedad y están proporcionando información relevante. Si se combina su estudio con métodos cada vez más perfeccionados de microanálisis tal vez nos permitan reescribir la historia de la Tierra primigenia.

Pero hay otra manera de averiguar algo más sobre el Hádico. La prospección minera en la Luna y en Marte también podría revelar cómo era la Tierra antes del gran impacto. A diferencia de la Tierra, ninguno de esos dos mundos sufrió una refundición, de modo que hay una posibilidad mucho mayor de encontrar rocas verdaderamente antiguas en su superficie. Hasta podría tocarnos una lotería geológica si diéramos con un fragmento de la Tierra hádica lanzado al espacio por algún impacto asteroidal y que acabara aterrizando en la Luna o en Marte.

Con esta idea general en mente sobre los primeros años de la Tierra, pasemos ahora a indagar un poco más en las cuestiones que mantienen en vela a los especialistas en ciencias de la Tierra, astrofísica y paleobiología.

Nuestro enigmático satélite

Explicar el origen de la Luna siempre ha planteado un problema. Es demasiado grande. Ningún otro planeta del Sistema Solar cuenta con un satélite proporcionalmente tan enorme: tiene más de una cuarta parte del diámetro de la Tierra. Un objeto así no pudo quedar capturado al pasar, que es como se cree que otros planetas consiguieron sus satélites más pequeños. En 1879 George Darwin, el hijo astrónomo de Charles, propuso otra explicación.

Planteó que la Tierra primigenia giraba tan veloz que se desmembró y lanzó una parte de sí misma al espacio.

Aquella idea alcanzó cierta popularidad durante un tiempo, pero se desplomó víctima de los estudios de dinámica planetaria a comienzos del siglo XX, al descubrirse que los números no cuadraban. Para que la fuerza centrífuga que tira de la Tierra hacia fuera superara la fuerza de la gravedad que tira del planeta hacia dentro y lo desgajara, nuestro mundo tendría que girar a una velocidad disparatada, como completar un giro cada 2 horas.

La idea de Darwin fue reemplazada por la hipótesis del impacto gigante o la «gran salpicadura», es decir, aquel choque oblicuo de un objeto del tamaño de Marte contra la Tierra (véase la Figura 1.1). Dada la profusión de objetos en colisión en el Sistema Solar primigenio, parece muy lógico que se produjeran impactos descomunales en periodos más tardíos.



Figura 1.1 ¿Fue una «gran salpicadura» lo que creó nuestra Luna?

Con todo, la gran salpicadura se podría refutar mediante un análisis de las rocas lunares traídas a la Tierra por los astronautas de las misiones Apollo. De acuerdo con la hipótesis del impacto gigante, algunas de esas rocas deberían proceder del objeto que chocó contra nuestro planeta, pero su estudio revela que los isótopos de oxígeno, cromo, potasio y silicio que contienen son indistinguibles de los de la Tierra. Además, algunas de las muestras que se creían procedentes de la corteza lunar contenían agua. El calor que generaron los efectos de la gran salpicadura tuvo que fundir las rocas y eliminar el agua.

Sin embargo, no se perdió toda. Dejando de lado ideas tan especulativas como que la explosión de un reactor nuclear natural en el interior de la Tierra fue lo que lanzó una parte del planeta al espacio, otros modelos revelan que existen ciertos tipos de colisiones compatibles con esas impugnaciones.

Matija Cuk, del Instituto SETI de Mountainview, en California, y Sarah Stewart, de la Universidad de California en Davis, descubrieron que, si en el pasado la Tierra giraba más rápido de lo que se cree, le habría bastado poco menos que un coscorrón para esputar la Luna. En lugar de un objeto como Marte, puede que contra la Tierra chocara uno con la mitad de ese tamaño con un ángulo más inclinado y se quedara enterrado en las profundidades de nuestro mundo. Las simulaciones por ordenador de Cuk y Stewart evidencian que un suceso así aportaría la energía justa para que se produjera una explosión que lanzara un penacho de roca exclusivamente terrestre a la órbita, lo que daría lugar a una Luna sin ninguna diferencia isotópica con la Tierra.

La científica planetaria Robin Canup, del Instituto de Investigación del Sudoeste, en Boulder, Colorado, ha propuesto otro tipo de «impacto gigante suave». Ella imagina dos planetas, cada uno de ellos con la mitad del tamaño de la Tierra, en colisión lenta. Durante la subsiguiente coalescencia que dio lugar a nuestro planeta, la Luna se habría formado a partir de los restos sobrantes, lo que garantiza que ambos objetos actuales estén compuestos por los mismos ingredientes.

¿De verdad era la Tierra un infierno?

El caos imperante en el Sistema Solar primigenio ciertamente lanzó objetos en todas direcciones, y algunos de ellos se precipitaron hacia nosotros. Una ojeada a los cráteres de la Luna ya da una idea de la magnitud del bombardeo, aunque no vemos esas cicatrices en la Tierra porque han quedado erosionadas por la acción del viento, la lluvia y la vida vegetal.

Las rocas traídas a la Tierra por las tripulaciones de las misiones Apollo apuntan a que el mayor vapuleo se produjo durante el periodo del bombardeo intenso tardío. Impera el convencimiento de que antes y durante esa tunda nuestro planeta era un infierno fundido, demasiado caliente, seco y hostil para que surgiera la vida. Hasta que finalizó el bombardeo durante el eón Arcaico (véase el capítulo 2) no mejoraron lo bastante las condiciones para que la vida empezara a aflorar.

Sin embargo, en los últimos años ha empezado a cuestionarse el bombardeo intenso tardío desde diversos fren-

tes. La postura más radical es la que defiende que la intensificación del bombardeo lunar podría ser un artificio derivado de la manera en que se recolectaron las muestras de las misiones Apollo.

Las muestras de estas misiones procedían de distintos emplazamientos lunares. Aun así, los estudiosos han señalado que todas ellas pueden provenir de un único suceso: el impacto o los impactos que crearon la cuenca del Mar de las Lluvias, una de las manchas oscuras y extensas que forman la «cara de la Luna». Es posible que los fragmentos de roca lanzados por aquel suceso hayan contaminado diferentes partes de la superficie lunar, lo que significa que lo que de entrada parecía un conjunto enorme de impactos simultáneos pudo consistir tan solo en un puñado de ellos. Si los impactos fueron más ocasionales, la Tierra primigenia no habría sido tan infernal como se pensó en un principio.

Otras fuentes aportan también signos de un eón Hádico más benigno, entre los que figuran los testigos más diminutos de entonces. Los circones son cristales duros de silicato de circonio que suelen medir 1 milímetro o menos de largo y se cuentan entre los objetos más antiguos de la Tierra. Toleran temperaturas de 1600 °C y soportan el descenso por todo el curso de un río sin astillarse. Y lo más importante para la geología, perduran bajo toneladas de sedimentos sin sufrir metamorfosis ni fundirse, como sí sucede con otros materiales.

Los circones están por todas partes en la Tierra. Se encuentran en casi todos los granitos, que se forman cuando la roca se vuelve a fundir en el interior de la Tierra

antes de emerger y enfriarse. A medida que el granito se solidifica, el circonio que pueda haber en la masa fundida atrapa silicatos y se cristaliza en forma de circones. También abundan en rocas sedimentarias cuando la erosión los arranca de sus granitos originales.

Los circones que siembran dudas sobre el Hádico proceden de rocas de los montes Jack Hills de Australia Occidental, los cuales se remontan a unos 3700 millones de años atrás. Cuando se dataron los circones de ese lugar (mediante el cotejo de las proporciones de uranio con los productos de su desintegración radiactiva –véase el capítulo 2–), resultaron ser aún más antiguos. Uno está fechado en 4400 millones de años atrás, lo que apunta a que ya existía material sólido en la superficie de la Tierra tan solo 200 millones de años después de su gestación.

Además, los investigadores encontraron inclusiones (trazas de cuarzo, feldespato y mica) atrapadas dentro de los circones. Esto apunta a que los circones se formaron a partir de sedimentos fundidos, metamorfoseados, que en un principio pudieron parecerse a barro húmedo o arcilla. Los análisis también descubrieron que los circones antiguos portan altas concentraciones del isótopo oxígeno 18. Las rocas que se forman a baja temperatura en condiciones de humedad tienden a absorber más oxígeno 18 que otras.

Las mediciones de otros elementos en los circones respaldan este hallazgo. Ahora parece que, lejos de ser un «océano de magma» carente de atmósfera, la Tierra de 4400 millones de años atrás era sólida, templada y húmeda. Las lagunas, charcas y océanos necesitan una su-

perficie sólida sobre la que asentarse, lo que apunta a que hubo una corteza desde bien pronto y, si había agua líquida, entonces tenía que haber una atmósfera densa: de lo contrario el agua se habría evaporado con el calor. El infierno en la Tierra parece de repente bastante templado.

¿Cuándo empezó la vida?

La idea de que la Tierra era más fría y húmeda durante el Hádico de lo que se había pensado con anterioridad se refleja en nuevos indicios recientes, aunque controvertidos, de la vida más primitiva.

El primer signo fiable de vida procede de una playa fósil en la región de Pilbara, en Australia Occidental, al norte de los montes Jack Hills. Estos restos se fecharon en 3430 millones de años atrás. Las huellas químicas en rocas aún más antiguas del sudoeste de Groenlandia sugieren que la vida pudo existir ya 3800 millones de años atrás, aunque este indicio es discutible.

En 2015 Elizabeth Bell y Mark Harrison, de la Universidad de California en Los Ángeles, comunicaron junto a otros compañeros el hallazgo de carbono con una huella de aspecto orgánico sellado en el interior de un cristal de circón. El equipo había analizado más de 10 000 circones de los eones Hádico y Arcaico. En un cristal del Hádico procedente de Jack Hills (véase la Figura 1.2) encontraron motas diminutas, o inclusiones, de grafito, que tuvieron que incorporarse al circón cuando este se formó hace unos 4100 millones de años.