



LA HISTORIA UNIVERSAL DE NOSOTROS

Un viaje de 13.800
millones de años, desde
el Big Bang hasta ti

TIM COULSON

CRÍTICA

LA HISTORIA UNIVERSAL DE NOSOTROS

Un viaje de 13.800 millones de años,
desde el Big Bang hasta ti

Tim Coulson

Traducción castellana de
Miguel Á. Pérez

CRÍTICA
BARCELONA

Primera edición: marzo de 2025

*La historia universal de nosotros. Un viaje de 13.800 millones de años,
desde el Big Bang hasta ti*

Tim Coulson

La lectura abre horizontes, iguala oportunidades y construye una sociedad mejor. La propiedad intelectual es clave en la creación de contenidos culturales porque sostiene el ecosistema de quienes escriben y de nuestras librerías. Al comprar este libro estarás contribuyendo a mantener dicho ecosistema vivo y en crecimiento.

En Grupo Planeta agradecemos que nos ayudes a apoyar así la autonomía creativa de autoras y autores para que puedan continuar desempeñando su labor. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra. Puede contactar con CEDRO a través de la web www.conlicencia.com o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

Queda expresamente prohibida la utilización o reproducción de este libro o de cualquiera de sus partes con el propósito de entrenar o alimentar sistemas o tecnologías de inteligencia artificial.

Título original: *The Universal History of Us. A 13.8 billion year tale from the Big Bang to yo*

© Tim Coulson, 2024

© de la traducción, Miguel A. Pérez, 2025

© Editorial Planeta, S. A., 2025

Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)

Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

editorial@ed-critica.es

www.ed-critica.es

ISBN: 978-84-9199-727-6

Depósito legal: B. 3.593-2025

Impresión y encuadernación: Rotoprint

Printed in Spain - Impreso en España



El método científico

Tales de Mileto puede presumir de haber sido el primer científico del mundo. También fue el más antiguo de los siete sabios de la Grecia clásica, personajes que alcanzaron la fama por sus logros en filosofía, en la promulgación de leyes y en la política, y a los que se reverenciaba por su sabiduría y conocimientos. Tales nació hace 2.600 años en la ciudad epónima y, de dar pábulo a todo lo que se ha escrito sobre él, tuvo una vida sorprendente y fue poco menos que una celebridad entre sus contemporáneos.

Reconstruir los episodios de su biografía no es tarea fácil, ya que no hay constancia escrita de buena parte de los descubrimientos que se le atribuyen hasta varias décadas después de su muerte. Las menciones de sus logros fechadas durante su vida son muy escasas y no se han podido encontrar textos de su puño y letra. En todo caso, historiadores de la época clásica tales como Heródoto y Eudemo lo tenían en muy alta estima y enumeraron sus hallazgos más notables, entre los que se incluyen la medición de los diámetros del Sol y la Luna, el cálculo de que el año tiene 365 días, mejoras en la navegación mediante el uso de las estrellas fijas, la predicción de eclipses solares, la determinación de los solsticios de verano e invierno, el desvío del curso del río Halis para que un ejército pudiera cruzarlo, la enunciación de numerosos teoremas matemáticos, la invención del comercio de materias primas y la demostración de que la Tierra es una esfera. Es cierto

que las evidencias de que fue él quien realizó estas proezas son más sólidas en unos casos que en otros, pero todos ellos tienen algo en común: buscaba obtener conocimientos a través de hipótesis comprobables.

Los científicos, desde la época de Tales de Mileto hasta la actualidad, se esfuerzan por descubrir hechos acerca del mundo. Para hacerlo, emplean una herramienta denominada método científico, que es de una potencia increíble a pesar de su simplicidad. Todos los fenómenos descritos en este libro han sido caracterizados de este modo.

La ciencia consiste en explicar los motivos por los que se produce una observación determinada, para predecir a continuación las ocasiones futuras en que va a suceder lo mismo. Las observaciones más sencillas se refieren a cosas que pasan siempre, como caer al suelo después de saltar. Cuando esto sucede, no flotamos hacia el espacio, sino que volvemos a la Tierra, algo que debemos agradecer a la fuerza de la gravedad, que siempre tira de nosotros hacia abajo. Sin embargo, otros casos son más complejos, porque a veces se producen ciertos fenómenos que están ausentes en otras ocasiones. Por ejemplo, cuando se deja en reposo un cubito de hielo, este puede transformarse en un líquido o permanecer en estado sólido. Cuando la temperatura está por debajo del punto de congelación del agua (al menos en la Tierra y al nivel del mar), el hielo no experimenta cambios, pero por encima de este valor, se convierte en líquido. La ciencia pretende explicar estas observaciones e identificar las circunstancias en que se producen ciertos fenómenos. Tanto saltar como que se derrita o no el cubito son hechos empíricos relativamente sencillos que se pueden repetir muchas veces.

Otros acontecimientos menos habituales son más difíciles de analizar. La constatación de nuestra existencia y dilucidar si tú y yo éramos inevitables en el momento del nacimiento del universo es algo muy complejo de entender y predecir, porque solo ha ocurrido una vez. A pesar de ello, la comunidad científica ha perseverado y ha avanzado poco a poco en la resolución del problema. Por otro lado, lo sucedido en un pasado remoto es siempre com-

plicado de estudiar, tanto más cuanto mayor sea el tiempo transcurrido y, por norma, menor la información disponible. Conocemos mejor la vida de los famosos en la actualidad (de hecho, a menudo sabemos más de lo que quisiéramos) que la biografía de las personas eminentes de la Grecia clásica. A su vez, se sabe más sobre la población de la antigua Mileto que sobre los habitantes de Çatalhöyük, la primera ciudad del mundo, que llegó a su apogeo hace unos 9.000 años. El hecho es que la información escasea al remontarse en el tiempo. El registro fósil, que tanto ha contribuido a nuestra comprensión de la evolución de la vida, es muy parco y a menudo presenta lagunas insalvables. Lo cierto es que son muy pocos los individuos de una especie que se fosilizan tras la muerte. Hasta la fecha, los paleontólogos solo han desenterrado los restos de 32 ejemplares de *Tyrannosaurus rex* adultos, a pesar de que estos animales eran muy grandes y tenían huesos y dientes enormes, que son las partes del cuerpo que se conservan con mayor probabilidad. Puede parecer que 32 son muchos, y lo son en comparación con otras especies, pero hay que tener en cuenta que este temible y gigantesco dinosaurio habitó la Tierra durante 2,5 millones de años y se estima que pueden haber nacido hasta 2.500 millones de ejemplares en total. De extrapolar esta tasa de fosilización a los seres humanos actuales, dentro de 66 millones de años solo se conservarían los restos de cien de nosotros, lo que equivale al 0,00000128 % de la población mundial.

Para que un animal (o una planta) experimente este proceso, debe fallecer en circunstancias muy concretas y en un entorno adecuado. Si alguien quisiera aumentar sus posibilidades de quedar fosilizado, lo mejor que puede hacer es morir sepultado bajo los sedimentos de una inundación repentina o las cenizas volcánicas de una erupción inesperada. Después, sus restos deben permanecer inalterados durante al menos 10.000 años. Sin embargo, nada de todo esto garantiza que se alcance el objetivo. A mí me gustaría quedar fosilizado (mis hijos afirman que ya lo estoy), pero también querría tener una muerte más pacífica que ser enterrado vivo por el lodo o la lava. El motivo de mi deseo es que serviría de ayuda a futuros científicos, para que pudiesen interpre-

tar la historia que estamos haciendo hoy mismo. Lo cierto es que, si algún paleontólogo descubriese mi fósil en la posteridad, podría ser más útil a la humanidad tras mi muerte que en vida.

La historia evolutiva de los organismos que vivieron en el pasado está escrita en parte mediante impresiones en roca. No obstante, estos grabados son escasos y a menudo sirven de poca ayuda a la hora de investigar las razones por las que tú y yo existimos. A pesar de ello, los paleontólogos que estudian los fósiles han realizado notables hallazgos acerca de la historia natural de la vida.

En este capítulo me propongo explorar la manera en que funciona la ciencia. El método científico consiste en varias técnicas que permiten hacer descubrimientos sobre el universo en que vivimos. A diferencia de lo que parecen creer ciertos políticos populistas y algunos gurús de las redes sociales, repetir una y otra vez algo ficticio no es una forma válida de obtener conocimientos. Tan solo es una manera pasada de moda de interpretar la realidad. Antes de los hallazgos alcanzados gracias al método científico, era habitual explicar las observaciones del mundo que nos rodea mediante mitos. Muchos de ellos son bastante entretenidos, pero en general no son nada más que fábulas.

A la vista de todo el conocimiento que hemos obtenido gracias a la investigación científica, me sorprende y decepciona que las leyendas y las invenciones no hayan dejado de desempeñar un papel destacado en la sociedad actual. He conocido a simpatizantes de teorías de la conspiración que creen que la familia real británica pertenece a una raza de lagartos alienígenas, que Elvis sigue vivo y está oculto en algún lado, que Donald Trump ganó las elecciones de 2020 en Estados Unidos, que la llegada a la Luna fue rodada en un plató y que Keanu Reeves es inmortal y podría, de hecho, ser un vampiro. Algunas de las ideas más descabelladas en este sentido pueden ser risibles, pero cuando un grupo de personas abandona el terreno de los hechos para enarbolar sinsentidos que carecen por completo de demostración alguna, pueden causar un daño muy real. La ciencia ha demostrado de manera concluyente que ni la homeopatía ni la curación a distancia tienen efecto alguno sobre la salud, del mismo modo que el jengibre no puede

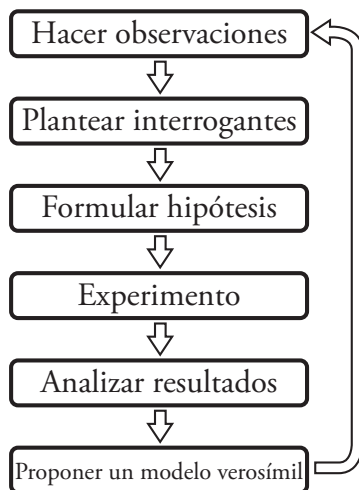
acabar con el cáncer. Sin embargo, hay muchas personas que se aferran a estas creencias sin fundamento. Es cierto que la ciencia y la medicina no son capaces de curar todas las enfermedades, pero han hecho progresos asombrosos en el tratamiento de muchas de ellas. Darles la espalda sin más a los fármacos modernos, tan solo porque un místico al que nunca has conocido en persona se ofrece a elevar plegarias desde Tombuctú para sanarte, conlleva el riesgo de acortar tu vida. Confía en la ciencia. Esta aporta pruebas para defender o rechazar una hipótesis dada y para explicar lo que hasta ese momento no tenía explicación. En cambio, los mitos y las conspiraciones no se basan en evidencia alguna. Nuestra civilización ha logrado avanzar gracias a la ciencia, no porque haya sectas o sociedades secretas que manejen los hilos entre bastidores. Los hechos empíricos que han llevado hasta nuestra existencia son mucho más interesantes que cualquier bulo o teoría conspirativa. Además, pueden comprobarse.

El método científico parte de una observación, a menudo planteada como un interrogante. Esta puede referirse a cualquier aspecto del mundo natural o artificial. Tal vez sea algo tan sencillo como ¿por qué está ese árbol ahí? o ¿por qué ese tipo de árbol y no otro de otra especie? O ¿por qué enfermo? y ¿por qué me curo de la enfermedad? O ¿por qué vuelvo siempre al suelo cuando salto hacia arriba? y ¿por qué ya no nieva tanto en Inglaterra como cuando mis padres eran jóvenes? La observación a la que me refiero en este libro es «tú y yo existimos» y el interrogante que me planteo es «¿por qué estamos vivos?». La ciencia nos ha permitido hacer grandes avances a la hora de dar una respuesta a esta cuestión.

Me he planteado preguntas como estas desde que era pequeño, y sospecho que en más de una ocasión puedo haber vuelto locos a mis padres. Cuando tenía tres o cuatro años me llevaron por primera vez a ver el mar. Según me han contado, me quedé mirando embelesado las olas durante varios minutos, antes de preguntar por qué subían y bajaban. Mis padres son personas con educación superior y una cierta comprensión de la ciencia. Sin embargo, poco después les hacía preguntas a las que no po-

dían responder, de modo que fuimos a la biblioteca a por libros científicos. Pasaron los años, y cuando era un adolescente me suscribieron a una revista semanal de divulgación para jóvenes. Esperaba expectante su llegada y la leía de cabo a rabo. Incluso a veces dibujaba gráficas o intentaba escribir ecuaciones para comprender mejor algunos de los conceptos sobre los que acababa de leer.

El método científico



Si me hubieran llevado al psicólogo cuando era niño, este habría concluido que era un pequeño excéntrico y sabiondo. Si hubieran llevado a mis padres, habría descubierto que mi obsesión por la ciencia, junto con mis malas notas en la escuela, les preocupaba sobremanera. No me gustaba el colegio. No solo porque la mayor parte de mis compañeros pensarán que yo era un bicho raro (tampoco me hizo ningún favor en este sentido el hecho de que durante la mayor parte de mis años adolescentes fuera vestido con pantalones bombachos, zapatos de cuero acabados en punta, gabardina y un sombrero de ala estrecha), sino sobre todo porque nos daban listados de hechos para memorizar, en vez de enseñarnos cómo funciona el mundo. En todo caso, en clase nunca se habla-

ba del método científico. Lo tuve que investigar yo por mi cuenta en casa.

Una vez realizadas las observaciones, el siguiente paso es formular una hipótesis, que es una explicación plausible de los hechos observados. Un psicólogo que me hubiera analizado de niño podría plantear la hipótesis de que estaba predeterminado por mi herencia genética a ser un friki de la ciencia. Sin embargo, este extremo no habría sido fácil de comprobar a principios de la década de 1980, y para que una propuesta de este tipo sea útil tiene que ser comprobable mediante observaciones adicionales, experimentos, o ambos. Si no cumple este requisito, equivale a un mito o a un cuento: puede ser atractivo, pero el conocimiento no puede ir más allá de lo empírico.

Para poner un ejemplo de la manera adecuada de realizar este proceso, tomemos la primera cuestión planteada: ¿por qué está ese árbol ahí? La he elegido por dos motivos principales. En primer lugar, es algo que todo el mundo puede comprender, aunque es posible que nunca nos haya surgido al ver un ejemplar concreto. Después, porque al poco tiempo de empezar mi doctorado, me senté durante cerca de una hora a mirar un abedul que se alzaba en medio de un campo y me hice exactamente esa pregunta. Ese episodio dio origen a mi tesis doctoral: ¿de qué manera contribuyen los animales, como ardillas y ciervos, a la distribución de poblaciones de árboles en un medio?

La respuesta más inmediata a este interrogante es que una semilla capaz de brotar de esa misma especie llegó hasta ese lugar y que las condiciones eran las adecuadas para su germinación y para la supervivencia y el crecimiento del plantón, hasta convertirse en retoño y en adulto después. Para ello, fue necesario que el brote superara las amenazas que representaban los herbívoros, que podían devorarlo, y los patógenos, causantes de enfermedades mortales. Además, los aportes de agua, luz y nutrientes debían ser adecuados. Puede que una respuesta así sea una perogrullada, pero ¿cuántas hipótesis hay que formular y comprobar antes de llegar a esta conclusión? Resulta que no son pocas.

Para empezar, habría que proponer y demostrar que los árboles nacen de semillas, algo que en la actualidad nos resulta evidente. Sin embargo, para comprobarlo se podría hacer un experimento, reunir simientes de diferentes tipos de especies vegetales, plantarlas en sitios concretos y esperar a ver qué crece a partir de ellas. Dado lo que se sabe hoy en día, esto podría parecer algo trivial y ridículo, pero hasta mediados del siglo XIX muchas personas creían todavía en la generación espontánea y en que podían surgir criaturas vivas a partir de objetos inanimados, como las piedras o el agua. Esta creencia coexistía con la certeza de que se necesitaban semillas para obtener una cosecha, a pesar de lo cual no se aceptaba de manera generalizada que la simiente era imprescindible para que naciera la planta, ya que se pensaba que la vida podía surgir por sí misma bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, algunos escritores del siglo XVII afirmaban que el trigo y los trapos producían ratones de forma espontánea.

Cuando se reúnen semillas en un experimento y se plantan, no todas germinan ni dan lugar a plantones, pero si bastantes de ellas lo hacen, esto supone una prueba de que pueden originar retoños de árboles. No obstante, esta comprobación lleva de manera natural a otro interrogante: ¿por qué no brotan todas? Aquí es posible formular la hipótesis de que las condiciones locales determinan la germinación y la supervivencia. Otro experimento podría consistir entonces en emplear varios tipos de suelo para la siembra y en aportar cantidades diferentes en cada caso de luz, agua y nutrientes, para ver a continuación qué semillas salen adelante y cuáles no. Si estas brotan en unas condiciones, pero no en otras, esto explica la observación de que no todas ellas tienen éxito a la hora de producir plantones.

No obstante, incluso cuando los factores externos son favorables, no todos los brotes se convierten en retoños. La pregunta que surge a continuación es el motivo por el que esto sucede. En algunos casos puede que esto se deba a la ingesta por herbívoros, tales como insectos, caracoles, conejos o ciervos. En otros, tal vez sea a causa de ataques de virus, bacterias u hongos y de las afecciones causadas por estos. Sea como fuere, estas observaciones

conducen de manera natural a la formulación de nuevas hipótesis, según las cuales las enfermedades y algunos animales son causas destacadas de mortandad. El siguiente experimento en este sentido consistiría en comparar el rendimiento de las semillas, de los plantones y de los retoños cultivados en condiciones favorables de luz, agua y nutrientes, pero expuestos en algunos casos a herbívoros y patógenos y protegidos de su actuación en otros. Si las tasas de mortalidad son diferentes en ambos grupos, quedaría demostrado que estas causas son factores determinantes en las posibilidades que tiene una semilla de llegar a producir un árbol adulto.

No obstante, incluso cuando se proporcionan agua, nutrientes y luz en cantidades adecuadas y no intervienen patógenos ni herbívoros, hay algunas semillas que no logran germinar. Ante esta observación, cabe formular la hipótesis de que hay algo defectuoso en ellas. Es posible que su constitución interna no sea la correcta, o que se hayan estropeado con el paso del tiempo, o que haya algún error en sus genes. Cualquiera de estos factores puede impedir que broten. Para comprobar estos extremos, sería necesario ir del campo y el invernadero al laboratorio. Habría que utilizar microscopios, básculas, espectroscopios, aparatos para secuenciar el ADN e incluso la ingeniería genética, para comparar la morfología, el metabolismo y el código genético de las diferentes semillas, antes de plantarlas en condiciones ideales y controlar cuáles germinan y cuáles no.

Como parte de mi tesis doctoral, realicé experimentos en los que impedía el paso de ciervos a ciertas zonas de un bosque en Inglaterra y comprobaba el efecto que esto tenía sobre la mortandad de semillas y plantones. Para ello, rodeé ciertas parcelas con una valla y las llamé «áreas con tratamiento de exclusión de herbívoros», mientras que elegí otras del mismo tamaño cuyo acceso no estaba restringido, a las que denominé «áreas de control». A continuación, planté en ellas semillas y plantones. Mi intención era que las condiciones en todas las zonas fueran tan similares como fuera posible en todos los aspectos, excepto en la presencia o ausencia de ciervos.

Utilicé una guadaña para eliminar todas las plantas bajo el dosel del bosque en las áreas de control y tratamiento. En una ocasión en que estaba bastante aburrido, me dediqué a blandir la guadaña y a gritar «soy la muerte». Justo en ese momento pasaba por un recodo del camino una señora que había salido a pasear a su perro y que me sorprendió en esta tesitura, antes de alejarse a toda prisa. La zona de mi estudio estaba cerca de una institución de máxima seguridad para criminales mentalmente inestables, de modo que no perdí el tiempo en alejarme del lugar, en caso de que la mujer llamara a la policía para denunciar que un interno se había escapado. Por lo menos, en esa época ya no llevaba la gabardina ni el sombrero verde. A pesar de este contratiempo, el experimento fue un éxito y pude estimar el significativo impacto que tenían los ciervos sobre la supervivencia de semillas y plantones de varias especies en mis áreas de investigación.

Cuando acabé mi estudio de campo, había aportado mi granito de arena para comprender dónde y por qué podían arraigar con éxito ciertos árboles. En ese sentido, era un proyecto útil, pero no respondía al segundo interrogante planteado al principio del capítulo: ¿por qué está ahí ese tipo de árbol y no otro de otra especie? ¿Por qué ese ejemplar que vi tantos años atrás era un abedul y no un coco de mar? Para contestar esta segunda pregunta, hay que formular nuevas hipótesis.

Estas pueden referirse al hecho de que ciertas condiciones favorezcan la germinación de semillas de una especie concreta, en lugar de otra, o bien a que esto sea el resultado de la cercanía de sus progenitores y de la mera suerte. Estas variables son determinantes a la hora de que una simiente específica llegue a un lugar determinado en el momento apropiado para su germinación y para la supervivencia del plantón. Tal vez los abedules necesiten cantidades diferentes de luz, agua y nutrientes para brotar que el coco de mar. Lo cual se presta a reflexión: ¿por qué tienen los diferentes árboles semillas tan distintas, en tamaño y forma, y acaso ayudan estos factores a algunas especies a prosperar en ciertos entornos en vez de otras? Varios investigadores han intentado dar respuesta a este interrogante y, mediante la aplicación del método cientí-

fico, han logrado explicar el motivo por el que una planta en concreto da frutos particularmente enormes.

El coco de mar (*Lodoicea maldivica*) es un tipo de palmera que se encuentra solo en un par de islas en las Seychelles y cuya semilla es la más grande del mundo. Digamos que no es aconsejable ponerse bajo una de estas plantas en la época en que sus frutos empiezan a caer: pueden pesar hasta 20 kilos y medir un tercio de metro. Un impacto directo en la cabeza podría matar a cualquiera. En cambio, es probable que el choque con una semilla de abedul pase desapercibido, porque apenas tiene uno o dos milímetros de longitud y no llega al gramo. No obstante, y a diferencia del coco de mar, esta especie está presente en la mayor parte de Europa y Asia, una zona mucho más extensa que un par de islas. Los biólogos no han prestado mucha atención al tamaño diminuto de las semillas de abedul, pero desde hace muchos años les han llamado la atención las enormes dimensiones de los frutos del coco de mar. Ahora se sabe ya el motivo por el que crecen tanto.

Las primeras palmeras evolucionaron hace 80 millones de años, unos 14 antes de la extinción de los dinosaurios. A partir de ese momento, el coco de mar se adaptó para crecer en zonas de suelo pobre, donde los minerales y nutrientes son escasos. En este sentido, ha desarrollado características que lo hacen especialmente adecuado para medrar en entornos difíciles, en los que ejemplares de otras especies suelen encontrar una muerte prematura. El precio que ha de pagar para vivir en estas condiciones es que la mayoría de las otras plantas tienen ventajas competitivas cuando se trata de crecer en sustratos más ricos. ¿Cuáles son estas características para especializarse en terrenos con poco alimento?

Para empezar, la evolución ha dotado a sus hojas de una forma particular, para actuar como canalones y dirigir la lluvia hacia la base del tronco. De este modo, al caer las gotas, arrastran el guano, el polen y cualesquiera otros restos que puedan haberse acumulado en la superficie, y el agua, enriquecida ahora con valiosos minerales y nutrientes, va a parar al suelo, junto a las raíces. Allí empapa la tierra y es absorbida por la planta, que la emplea para dar lugar a nuevas ramas, frutos o más raíces. Así, el coco de mar

ha evolucionado con hojas de una forma única para capturar los nutrientes y minerales que tan escasos son en el suelo en que vive.

Por otro lado, también es notable su eficacia a la hora de extraer alimento de su propio follaje, antes de que este se desprenda del tronco. De hecho, ninguna otra especie vegetal conocida es tan buena a la hora de reutilizar los recursos. El entorno en el que habita la palmera es tan pobre que todo debe reciclarse, siempre que sea posible. No se malgasta nada. Sin embargo, esto no explica por qué son tan grandes sus semillas.

El coco de mar invierte una cantidad considerable de valiosos recursos en la producción de enormes frutos, que tardan hasta cuatro años en desarrollarse y otros dos en germinar, una vez que han caído de la planta. Esta ha evolucionado para producir semillas enormes, repletas de nutrientes, de modo que los plantones que brotan de ellas empiezan su vida con una importante ventaja: cuentan con alimento suficiente para crecer a gran velocidad y alcanzar con rapidez un tamaño a partir del cual son capaces de capturar los escasos minerales y nutrientes del entorno, gracias a sus propias hojas acanaladas. Es decir, nacen con una ventaja intrínseca frente a otras especies vegetales que tienen semillas de menor envergadura, cuyos brotes no pueden desarrollarse tan rápido a partir de las reservas proporcionadas.

No obstante, las semillas de grandes dimensiones no se pueden alejar mucho de su lugar de origen, y ese es precisamente el caso del coco de mar, cuya simiente germina en la mayor parte de los casos a la sombra de su progenitora. Por otro lado, esta es la única especie vegetal conocida que cuida de sus descendientes, algo que resulta asombroso de verdad. En efecto, hay muchos animales que lo hacen, pero este parece ser un caso único entre las plantas. Varios experimentos han demostrado que los brotes que surgen inmediatamente bajo su progenitora crecen a mayor velocidad que aquellos que lo hacen más lejos. Esto se debe en parte a que el efecto de canalón que hacen las hojas de la palmera originaria, al conducir el agua y la suciedad hasta la base del tronco, también beneficia a sus retoños más cercanos. Sin embargo, no acaba ahí la cosa. Muchos árboles producen una serie de sustancias quími-

cas que impiden que las semillas de su propia especie germinen a sus pies, para evitar la competencia. El coco de mar no solo no lo hace, sino que proporciona a sus jóvenes de manera activa un entorno que les ayuda a crecer.

En lugar de producir solo una semilla al año, o unas pocas, como es el caso de esta palmera, los abedules liberan cientos de miles de ellas cada vez. Además, sus minúsculas simientes tienen unas pequeñas alas, de manera que el viento las arrastra durante bastantes kilómetros. Lo cierto es que es poco habitual que les vaya bien bajo el dosel del bosque, mientras que salen adelante y prosperan cuando caen en entornos despejados, con muy poca competencia. Esto quiere decir que solo unas pocas alcanzan condiciones adecuadas para la germinación y, en consecuencia, el ciclo vital del abedul es muy diferente al del coco de mar. Mientras que el primero produce millones de semillas y se asume que casi todas ellas van a encontrar una muerte temprana, el segundo apenas produce unas pocas en toda su vida, pero cada una con unas posibilidades razonables de alcanzar la edad adulta. Los botánicos se han servido del método científico (observación, hipótesis, experimento y vuelta a empezar) para obtener una cantidad impresionante de conocimientos sobre los motivos por los que especies concretas de plantas se hallan en determinado lugar y por los que presentan adaptaciones específicas para crecer y desarrollarse en ese entorno.

Puede que tú en concreto nunca te hayas preguntado las razones por las que un tipo determinado de árbol se encuentra en un lugar específico, pero si alguien te pidiera que lo explicaras, lo más probable es que formularas algunas hipótesis sobre la forma en que la semilla llegó hasta allí, germinó y creció para convertirse en un plantón y luego en un ejemplar adulto. Podrías hacerlo porque en el fondo todos somos científicos y formulamos hipótesis para explicar el mundo que nos rodea. Es posible que estas versen sobre hechos triviales, como las razones por las que alguien no te saludó esta mañana en la calle, o que se refieran a interrogantes tan trascendentales como el sentido de la vida. A menudo, también es posible adelantar varias propuestas posibles para explicar una mis-

ma observación concreta. Tal vez no sepamos con certeza por qué el perro ha vomitado en la moqueta, pero podría ser por el kebab abandonado que se comió ayer en el parque durante su paseo, o porque le pusieron la vacuna de la rabia hace un par de días.

La formulación de hipótesis es el segundo paso del método científico, una vez que se han hecho las observaciones pertinentes. El siguiente paso es recopilar toda la información relevante para comprobar las propuestas. ¿Cómo se lleva esto a cabo? ¿Qué evidencias son aceptables y cuáles no? ¿Cuándo es suficiente? El método científico implica algo más que observaciones, hipótesis y experimentos. Requiere saber que los resultados empíricos observados son reales y no se han producido por casualidad. ¿Cómo hacen los científicos para sopesar las pruebas y decidir que confirman o contradicen una hipótesis determinada?

Cuanto más audaz sea una afirmación, mayor tiene que ser el soporte empírico que la respalde. Si alguien asegura que ha encontrado la cura del cáncer, debe ser capaz de demostrarlo, de forma que convenza al resto de la comunidad médica. Parte del método científico consiste en ser capaz de proporcionar pruebas que apoyen las conclusiones a las que se ha llegado. Además, otras personas deben poder repetir los experimentos y llegar a los mismos resultados. En ocasiones se formula una hipótesis y se registran algunas observaciones que la respaldan o se diseñan experimentos que la confirmen, solo para descubrir que los datos recogidos son insuficientes para llegar a una conclusión convincente. Tomemos como ejemplo a tres especies de homínidos que demuestran los diferentes niveles posibles de evidencia.

En el folclore irlandés, los lepricanos son duendes solitarios de baja estatura. A menudo se les representa (por lo menos a los varones) con barba y vestidos de verde. Yo podría afirmar que hay uno viviendo en mi jardín, e incluso hacerlo de manera que suene convincente. Sin embargo, hasta que proporcione alguna prueba de su existencia, no hay razón alguna por la que nadie tenga que creerme. No basta con asegurar algo para que quede demostrado.

¿Qué tipo de pruebas cabe exigir? Sería ideal que los propios observadores lo vieran por sí mismos, o en su defecto, si ya no estuviera vivo, su cadáver. Las fotografías de alta calidad y sin manipulaciones podrían ser aceptables, al igual que una muestra genética de una nueva especie relacionada con los seres humanos. En ningún caso se debería aceptar solo mi palabra por sí misma, sin importar lo persuasiva que pueda parecer. El principal punto fuerte de la ciencia es que siempre está basada en evidencias y que se deben aportar pruebas para confirmar o refutar una hipótesis. Si esta viene apoyada por una gran cantidad de experimentos, pasa de ser una simple suposición a ser un hecho contrastado. Para que quede constancia, no puedo demostrar en modo alguno que haya un lepricano en mi jardín. Lo cual no es en absoluto sorprendente. ¿Cómo podría sobrevivir esta criatura sin ser pisoteada por mi rebaño de unicornios?

Es muy posible que todo el mundo piense que cualquier afirmación que yo pueda hacer sobre la existencia de los duendes domésticos irlandeses carezca por completo de fundamento, pero ¿alguien ha oído hablar del *Orang pendek*? Cada cierto tiempo se reciben informes acerca del hallazgo de pruebas que demuestran la existencia de una nueva especie homínida, viva en la actualidad. Alguien regresa de una expedición y trae «evidencias» de que existe el Yeti, o Pie grande, o el *Orang pendek*. Este último es un simio bípedo que se supone habita en las regiones más remotas de las selvas de Sumatra, y su caso sigue el patrón habitual. Un aventurero cualquiera retorna de un territorio lejano y presenta las pruebas que ha reunido de la presencia de una nueva especie, sea el *Sasquatch*, un Simio del pantano o el *Batutut* vietnamita, y se desencadena la locura mediática. No obstante, poco después se calman las aguas, la historia pasa de moda y los medios de comunicación se dedican a informar sobre un político corrupto o una celebridad insolente, lo que sea que sirva para rellenar el hueco al final de los telediarios. Cuando el público ha perdido el interés en el tema, la debilidad de las evidencias aportadas empieza a salir a la luz de manera gradual: una fotografía borrosa que podría perfectamente ser de cualquier cosa, un dudoso molde en escayola de

una huella, pelos que se cree que pertenecen a la criatura o relatos inverificables de miembros de la población local. En algunos casos, el pelaje es sometido a un examen genético y se concluye que pertenece a una vaca, una cabra o un perro, o bien no se puede extraer ninguna muestra de ADN (ácido desoxirribonucleico, la molécula que encierra las instrucciones para construir un organismo). A menudo, la persona que ha reunido estas pruebas tan endeble está convencida de lo que vio, pero no siempre comprende que la mayoría de los científicos exigen demostraciones más concluyentes, e idealmente una muestra de un ejemplar de la especie, tal como un esqueleto.

Una vez asistí a una conferencia en el Instituto de Zoología, la rama del Zoológico de Londres que se dedica a la investigación, en la que se habló de avistamientos del *Orang pendek*. El ponente estaba convencido de la existencia de esta criatura a raíz de la evidencia aportada, pero el resto del auditorio no. Sin embargo, en la conversación posterior quedó claro que la mayor parte del público deseaba creer en estas pruebas. Después de todo, el descubrimiento de un nuevo gran simio sería un importante avance en biología y el autor de tal hallazgo podría reclamar unos muy merecidos laureles. Sin embargo, la mayoría de los asistentes también creían que las imágenes proyectadas eran demasiado borrosas como para constituir una evidencia fiable y daban poca credibilidad a una entrevista con un miembro de una tribu local, cuyo testimonio se aportaba como prueba de la existencia del *Orang pendek*. No cabe duda de que la persona entrevistada era un experto en la flora y fauna nativas, después de haber pasado muchos años en la selva, pero fue incapaz de volver al lugar en el que afirmaba haber enterrado a una de estas criaturas que había encontrado muerta. Por otro lado, su afirmación de que la especie tenía la capacidad de quitarse los pies y volver a ponérselos al revés, para confundir a los cazadores, carecía de verosimilitud, ya que ninguna otra especie de simio, ni de animal, puede hacerlo. Sería un rasgo evolutivo muy peculiar, porque es poco probable que una característica así dotase a su poseedor de una ventaja a la hora de producir crías, el motor de la evolución, en comparación con otro ejemplar de tobi-

llos más firmes. Incluso un miembro del público dijo dar más credibilidad a la afirmación del entrevistado de que en una vida anterior había sido una paloma que a este truco de ponerse los pies del revés. En conclusión, le dijimos al investigador que le deseábamos la mejor de las suertes a la hora de reunir más datos, al mismo tiempo que expresamos lo que haría falta para convencernos. No pierdo la esperanza de que algún día nos lleguen noticias del descubrimiento fehaciente de un ejemplar de una nueva especie de gran simio vivo en Sumatra. Aunque mejor espero sentado. Del mismo modo, me encantaría enterarme de que yetis y pies grandes pasean a sus anchas por las zonas más remotas de nuestro planeta, pero, de nuevo, tengo la sospecha de que eso es poco probable.

No siempre hacen falta una gran cantidad de materiales para proporcionar pruebas irrefutables de la existencia de una nueva especie. Los lepricanos no existen y es poco probable que el caso del *Orang pendek* sea diferente, pero la Mujer X sí lo hizo y formaba parte de un grupo de homínidos llamados denisovanos. Estos vivieron en la prehistoria, como los neandertales, pero habitaron en Asia central, no en Europa, y estaban estrechamente emparentados con los humanos actuales. No se han recuperado suficientes restos como para determinar que constituyen una nueva especie, aunque lo que se ha descubierto ya es notable de por sí. Buena parte de lo que sabemos sobre ellos se debe a una única falange (el nombre científico que se da a un hueso de un dedo de la mano o el pie), que se sometió a los análisis más avanzados y que arrojó luz sobre el recorrido evolutivo de la humanidad.

Este relato empieza en una caverna en el macizo de Altái, en Siberia, en la que vivía un ermitaño ruso. Este hombre, llamado Dionisi, habitó la gruta a finales del siglo XVIII. Su nombre se traduce al inglés como Denis y de ahí el apelativo de cueva Denísova que se dio a esta oquedad entre las rocas.

No obstante, él no fue la primera persona que utilizó este refugio. Los arqueólogos rusos que han excavado la zona han encontrado evidencias de presencia neandertal, de la «Mujer X» y, más recientemente, de seres humanos modernos, todos los cuales ocuparon la gruta a lo largo de un período de al menos 100.000

años. Entre los hallazgos había un huesecillo del dedo de una niña, que no era ni neandertal ni *Homo sapiens*, la denominación latina que recibimos los humanos actuales, lo que permitió identificar a la Mujer X. Cabe destacar que no fue la estructura ósea la que permitió descubrir esto, sino la secuenciación del ADN extraído de su interior.

La pequeña de la que procedían los restos habitó la caverna en algún momento hace entre 30.000 y 50.000 años. Los científicos aún no han concluido si se trata de una especie diferente a la nuestra o bien si es una subespecie, por lo que todavía no se le ha asignado una nomenclatura. En biología, los organismos se clasifican según la especie a la que pertenecen, pero en ocasiones es difícil acotar este concepto, ya que los individuos que integran una misma clasificación pueden variar de manera sustancial de una población a otra. Por ejemplo, el tigre de bengala (*Panthera tigris tigris*), el de Sumatra (*Panthera tigris sumatrae*) y el siberiano (*Panthera tigris altaica*) presentan pequeñas diferencias de aspecto entre sí, sus poblaciones son diferentes desde el punto de vista genético y han evolucionado por separado durante lo que podrían ser cientos de generaciones. A pesar de ello, todos son tigres y pueden procrear unos con otros para producir descendencia viable. En consecuencia, se dice que son subespecies. A menudo se afirma que la Mujer X es una denisovana, y si por mí fuera la clasificaría como una subespecie, junto con neandertales y humanos modernos, aun a riesgo de irritar a algunos paleontólogos.

Se sabe muy poco de la vida de esta niña, pero se pudo extraer y secuenciar su ADN a partir de la falange recuperada. Para ello, se emplearon una tecnología puntera y grandes dosis de esmero. Se comparó su genoma con muestras neandertales y de humanos modernos de todas partes del mundo y los resultados demostraron que no pertenecía a ninguno de estos grupos. El fallecimiento de la Mujer X puede haber sido un suceso ordinario, aunque no me cabe la menor duda de que sus familiares y amigos lo lamentaron mucho, pero el descubrimiento de un huesecillo de uno de sus dedos ha tenido una repercusión extraordinaria: ha obligado a reescribir la historia de nuestros antepasados.

El descubrimiento de los denisovanos supuso una auténtica conmoción en la comunidad científica. Sin embargo, esta no era la primera vez que las pruebas de una subespecie extinta similar a la nuestra despertaban un vivo interés. En 1856, tres años antes de que Darwin publicara *El origen de las especies*, se encontraron restos óseos en una cueva en el valle de Neander, en Alemania. Sus diferencias con los huesos de los humanos modernos eran evidentes, y cuando el hallazgo fue anunciado en un periódico de Elberfeld causó un gran revuelo. A lo largo de los años siguientes, los eruditos propusieron que los fósiles encontrados pertenecían a un cosaco ruso, a un nativo americano, a un soldado en las huestes de Atila, a un individuo que sufría raquitismo o a un miembro de una tribu extinta, que se suponía había habitado en Europa en poblados primitivos antes de la llegada de los moradores modernos del continente. William King publicó un artículo en 1864 en el que trazaba un paralelismo entre los restos fosilizados y los huesos de ciertos simios, tales como chimpancés y gorilas, antes de llegar a la conclusión de que se trataba de una nueva especie, a la que llamó *Homo neanderthalensis*. La comunidad científica aceptó de forma gradual que otras especies (o subespecies), parecidas a los humanos actuales, existieron una vez en Europa y en general se dio por sentado que los neandertales eran toscos, salvajes y brutales. Esta opinión tardó buena parte de los siguientes 150 años en verse superada.

Hasta que se dispuso de la posibilidad de secuenciar cantidades minúsculas de ADN extraído de restos óseos muy antiguos, la teoría tradicional de la evolución humana sostenía que una especie, llamada *Homo erectus*, se desarrolló en África, antes de expandirse por Europa y Asia hace 2 millones de años. Su éxito fue asombroso y evolucionó hasta dar lugar a los neandertales y a varios otros grupos, como el diminuto *Homo floresiensis*, un homínido del tamaño de un hobbit que habitaba la isla de Flores, en Indonesia. Mientras tanto, en África, los descendientes de *Homo erectus* siguieron evolucionando y se convirtieron en los antecesores de los humanos modernos, hace cerca de 300.000 años. Algunos de estos abandonaron el continente por primera vez 125 mil-

nios después, pero solo llegaron hasta la península Arábiga, Siria y Turquía. Sin embargo, no consiguieron establecer poblaciones permanentes y en consecuencia desaparecieron. Hace 60.000 años se produjo una segunda emigración desde África, que tuvo más éxito. Esta oleada llegó al sur de Asia hace entre unos 50.000 y 60.000 años, y unos pocos milenios más tarde se extendió hasta Australia. Hace cerca de 40.000 años colonizaron de manera efectiva el continente europeo, antes de llegar hasta América, entre 25.000 y 16.500 años atrás. Al mismo tiempo que se producía esta expansión por todo el globo, *Homo sapiens* compitió con éxito frente a los homínidos más primitivos que habían evolucionado a partir de *Homo erectus*. Los neandertales fueron la última de estas especies en extinguirse, algo que ocurrió hace aproximadamente 30.000 años.

A mediados de la década de 1990, se especulaba si los seres humanos procedentes de África y los neandertales habían tenido descendencia conjunta de manera habitual, pero dado que no existían fósiles de criaturas mixtas, el debate carecía de pruebas. Recuerdo que, en una ocasión en 1994, durante una entrevista en televisión, le preguntaron a un colega mío por este tema. Explicó que carecíamos de evidencias al respecto, pero que él pensaba que lo más probable era que no hubiera sucedido. Unos días más tarde, recibió una carta de una espectadora en la que afirmaba: «Los neandertales y los humanos modernos se reprodujeron entre sí y yo puedo demostrarlo: le adjunto una fotografía de mi pareja». Bromas aparte, lo cierto es que los neandertales se extinguieron hace muchos miles de años y que a finales de la década de 1990 parecía imposible saber si en alguna ocasión se habían cruzado con *Homo sapiens*. No obstante, es sorprendente el punto hasta el que la genética ha supuesto un adelanto en el campo de la evolución humana en las últimas tres décadas.

El descubrimiento de la falange de la Mujer X, junto con los hallazgos de restos neandertales bien conservados y los significativos adelantos tecnológicos a la hora de extraer ADN de fósiles antiguos, que permiten recomponer secuencias genómicas a partir de meros fragmentos, han permitido a los biólogos dar respuesta

de un modo riguroso y científico al interrogante acerca de la posibilidad de cruces entre neandertales, *Homo sapiens* y denisovanos. Sin embargo, este trabajo se debe realizar con sumo cuidado.

Con el paso del tiempo, el material genético de los cadáveres se degrada, ya que los enlaces químicos entre los átomos que lo forman se rompen con los años. El ritmo al que esto sucede depende del entorno. La temperatura promedio en la cueva Denisova apenas ha superado los cero grados desde el fallecimiento de la Mujer X. Al mismo tiempo, el aire relativamente seco de la caverna ha preservado fragmentos del ADN de la fallecida, de modo que los científicos pudieron extraer pequeñas cantidades a partir del hueso. Llegados a este punto, fue necesario proceder con sumo cuidado para que la falange no sufriera contaminación alguna por material genético de otros humanos, incluido el propio Dionisi o los miembros del equipo que realizaron el hallazgo. Los investigadores debían tener también la certeza de que las muestras conseguidas pertenecían a una criatura estrechamente emparentada con el género humano y no a otro animal o a alguna bacteria que pudiera haberse refugiado en la cueva o vivido en ella. Mediante la aplicación de procedimientos extremadamente delicados, fue posible asegurar que el ADN recuperado no estaba contaminado en modo alguno y, así, un equipo de biólogos de Alemania pudo extraer y secuenciar el genoma de la Mujer X. A continuación, compararon estos resultados con los de multitud de seres humanos modernos de diferentes partes del globo y con los obtenidos a partir de huesos y dientes de neandertales.

Aunque el material analizado en el estudio inicial provenía de una única falange, permitió obtener muchos datos. El ADN consiste en cadenas de moléculas llamadas nucleobases o bases nitrogenadas. Estas se presentan en cuatro variedades: adenina, guanina, citosina y timina, indicadas respectivamente por sus iniciales A, G, C y T. El orden de su configuración se denomina secuencia, de modo que AACACTGT es una secuencia diferente de ATTA-GAGC. El genoma consiste en cerca de 3.000 millones de estos caracteres, unidos entre sí en 46 cadenas diferentes, cada una de las cuales se conoce como cromosoma. En un primer momento, el

genoma de la Mujer X fue secuenciado con una profundidad de 1,9, lo que quiere decir que en promedio cada base de cada cromosoma fue registrada algo menos de 2 veces. Es decir, todos los elementos A, G, C y T fueron identificados por una máquina diseñada para leer hileras de estas letras. Los integrantes individuales de una configuración pueden no ser detectados nunca o pueden serlo en repetidas ocasiones. En este caso, los componentes de la cadena fueron leídos un promedio de 1,9 veces. ¿Por qué hacerlo así?

Cuando se analiza un genoma en la actualidad, no es posible registrar de golpe el orden de las bases nitrogenadas en un cromosoma entero. Ello se debe a que la secuenciación implica tomar muestras de material genético de varias células de un mismo sujeto y los resultados se obtienen de forma fragmentaria. Muchos de estos pedazos son cortos y pueden no abarcar más que unas pocas decenas de componentes de la cadena. El proceso, por lo tanto, parte de la lectura del orden de las letras en muchos fragmentos de ADN, antes de recurrir a programas informáticos para recomponer la hilera entera. De este modo, cuanto mayor sea el número de veces que se registra cada base, junto con sus vecinas inmediatas en los diferentes trozos de material genético, mayor es la posibilidad de obtener la secuencia completa de un cromosoma y recomponerlo de manera correcta a partir de los diferentes fragmentos.

Cabe preguntarse por qué es esto tan complicado. Imaginemos una cadena muy corta que consista solo en las letras ACAGTCA-GA, que a su vez se recupere en dos partes, ACAG y TCAGA. ¿Como recomponer la secuencia inicial? ¿Debe ir ACAG primero y luego TCAGA, o es al revés? Las cosas son más complicadas todavía, porque no hay manera de saber si los fragmentos de ADN deben leerse de izquierda a derecha o en el sentido contrario. ¿Es ACAG o GACA? Con una profundidad de 1,9 es difícil recomponer un genoma entero de manera fiable. En la actualidad, no es extraño alcanzar profundidades de 30, y de hecho investigaciones posteriores sobre el material genético de la Mujer X, llevadas a cabo apenas cinco años después de la publicación del primer estudio, lograron unos resultados cercanos a esta marca.

Una analogía útil para comprender mejor esta tarea consiste en imaginar a alguien que cogiera muchas copias de este libro, las hiciera pedazos, de modo que no hubiera más que unas cuantas palabras en cada trozo, y luego quisiera recomponer el texto original. Salvo que el proceso es mucho más difícil en el caso de la secuenciación genética, porque solo hay cuatro letras y no la totalidad del alfabeto. Además, no hay espacios y, a diferencia de las palabras, es imposible saber si los fragmentos se deben leer de izquierda a derecha o en el sentido contrario. Para empeorar las cosas aún más, este libro contiene cerca de tres cuartos de millón de caracteres, mientras que el genoma humano y el de nuestros ancestros es mucho más extenso. No cabe duda de que se trata de una tarea ardua.

El genoma de las especies del género *Homo* contiene cerca de 3.000 millones de pares de bases nitrogenadas. Los científicos que estudiaron a la Mujer X compararon las secuencias obtenidas con muestras de neandertales, de doce humanos de diferentes partes del mundo y de un chimpancé. Eso es una cantidad ingente de datos, unos 45.000 millones de letras. Este análisis permitió descubrir trazas de ADN denisovano en las poblaciones humanas actuales que viven en partes del sur de Asia y en Oceanía, mientras que los europeos modernos presentaban restos de genes neandertales.

¿Qué es más fiable a la hora de determinar la existencia, pasada o presente, de especies similares a los humanos? ¿Mi afirmación de que hay lepricanos en mi jardín? ¿Una fotografía desenfocada y el testimonio de alguien que fue una paloma en una vida anterior en el caso del *Orang pendek*? ¿O 45.000 millones de pares de bases nitrogenadas, una secuenciación genética cuidadosa en extremo y análisis estadísticos formales, en el de la Mujer X? La ciencia se basa en pruebas, y las evidencias de que nuestros ancestros tuvieron descendencia con neandertales y denisovanos son concluyentes. A pesar de ello, todavía queda algún científico suelto empeñado en considerar otras posibilidades, tales como patrones sesgados de errores en la replicación de genes (mutaciones en el ADN), que en potencia podrían generar los mismos resultados.