Rob DeSalle y Ian Tattersall

# El cerebro

## Big Bangs, comportamientos y creencias



Galaxia Gutenberg

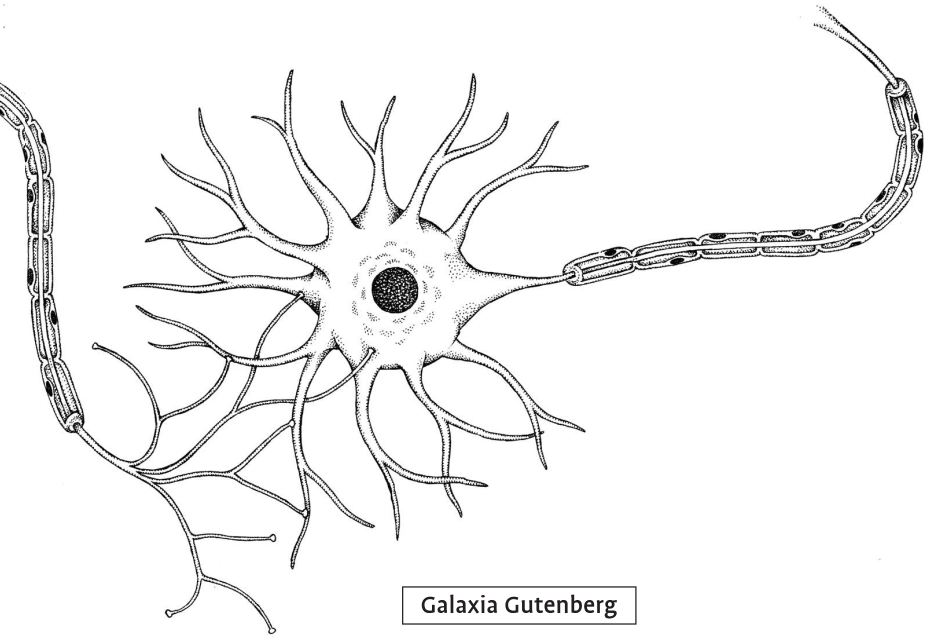
Rob DeSalle y Ian Tattersall

# El cerebro

## Big Bangs, comportamientos y creencias

Ilustrado por
Patricia J. Wayne

Traducción de
Irene Cifuentes y Beatriz García Ríos



Galaxia Gutenberg

También disponible en ebook

Título de la edición original: *The Brain. Big Bangs, Behaviours, and Beliefs*
Traducción del inglés: Irene Cifuentes de Castro y Beatriz García Ríos

Edición al cuidado de María Cifuentes

Publicado por:
Galaxia Gutenberg, S.L.
Av. Diagonal, 361, 2.º 1.ª
08037-Barcelona
info@galaxiagutenberg.com
www.galaxiagutenberg.com

Primera edición: febrero 2017

© Rob DeSalle y Ian Tattersall, 2012
© de las ilustraciones: Patricia J. Wynne
© de la traducción: Irene Cifuentes y Beatriz García, 2017
© Galaxia Gutenberg, S.L., 2017

Preimpresión: Maria Garcia
Impresión y encuadernación: CAYFOSA- Impresia Ibérica
Carretera de Caldes, km 3, 08130 Santa Perpetua de Mogoda
Depósito legal: B. 160-2017
ISBN Galaxia Gutenberg: 978-84-16252-26-8

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede realizarse con la autorización de sus titulares, a parte las excepciones previstas por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear fragmentos de esta obra (www.conlicencia.com; 91 702 19 70 / 93 272 04 45)

*Para Erin, Jeanne y Maceo*

# Índice


Prólogo . . . . . 13
Agradecimientos . . . . . 17

1. La naturaleza de la ciencia. *El funcionamiento de nuestro cerebro* . . . . . 21
Un desorden evolutivo poco elegante pero bastante eficaz . 22
Pensar en el pensamiento . . . . . 23
Compartidos, derivados. Derivados, compartidos. Eso es todo lo que sabéis de la Tierra y todo lo que necesitáis saber . . . . . 25
¿Podría ser el Árbol de la Vida una tabla periódica de la evolución? . . . . . 29
La historia de una ciencia histórica . . . . . 35
Mantener al médico alejado . . . . . 38
El zigzag evolutivo . . . . . 45
2. Los pormenores del sistema nervioso . . . . . 47
Todo empezó con una explosión . . . . . 48
Iones, las herramientas de trabajo del sistema nervioso . . . . 51
El origen de la vida . . . . . 55
Un baile eléctrico . . . . . 60
La evolución de los tipos de células . . . . . 64
Se abre la caja de Pandora . . . . . 66
¡Cuidado con los espacios! El conectoma está a punto de llegar . . . . . 73
3. El lugar de nuestro cerebro en el Árbol de la Vida . . . . . 81
¿Aún tenemos *quorum*? . . . . . 82
¿Tiene Dicty criterio? . . . . . 86
¿Tienen cerebro las plantas? . . . . . 89
Esponjas que estornudan, ¿realidad o ficción? . . . . . 96
¿Una red neural es un sistema nervioso? . . . . . 99

¿Cerebridad? . . . . . 101
El cerebro de la mosca del vinagre visto de cerca . . . . . 108
Dibujos al revés . . . . . 110
Seguimiento de los cerebros en «cuasi» vertebrados . . . . . 111
Ciclóstomos . . . . . 114
Cuando las apariencias engañan . . . . . 116
4. Dar sentido a los sentidos . . . . . 123
Evolución sensorial . . . . . 125
Hágase la luz: en el principio eran los GPCR . . . . . 126
Las ondas sonoras se transforman en impulsos nerviosos . . . . . 137
Un caníbal le dice a otro mientras se comen a un humorista: «Éste no sabe tan gracioso como yo pensaba» . . . . . 140
Olor . . . . . 144
Tacto . . . . . 149
Mantener la orientación . . . . . 157
El camino hacia el cerebro es muy largo . . . . . 160
5. El procesamiento de la información . . . . . 163
La respuesta de los organismos unicelulares a la percepción puede ser compleja . . . . . 164
Percepción y redes cneurales en cnidarios . . . . . 166
Complejidad cerebral y sentidos en los insectos . . . . . 168
Cerebros de peces, cerebros de peces, cerebros de peces regordetes . . . . . 170
El que algo quiere, algo le cuesta . . . . . 176
«Límbico» y «Triuno» también son palabrotas . . . . . 178
Cómete las natillas, cómetelas, cómetelas . . . . . 185
La limpieza del pasillo sináptico . . . . . 190
Lo bueno, lo malo y lo feo de los neurotransmisores . . . . . 191
6. Emociones y memoria . . . . . 195
Estoy un poco *Verklempt* (Mike Myers) . . . . . 198
Para que pudiéramos tener rosas en diciembre . . . . . 201
No es tan guapa como Heidi Klum, pero hay que ver qué buena modelo . . . . . 204
Aquí Phineas Gage, aquí Henry Molaison (H.M.) . . . . . 209
¿LTP? OMG CRS . . . . . 213
Cuando era más joven era capaz de recordarlo todo, incluso aunque no hubiera ocurrido (Mark Twain) . . . . 218

7. La evo-devo del cerebro . . . . . 221
Fotos subidas de tono . . . . . 221
Cómo consigue el cerebro sus rayas . . . . . 223
Hace como los monos, que cuanto más alto trepa, más enseña el trasero (Francis Bacon) . . . . . 227
Regreso al mundo del ARN . . . . . 230
El tamaño importa (¿o no?) . . . . . 235
Microcefalia . . . . . 237
8. Letra y música de... . . . . 241
Las áreas de lenguaje y el área del lenguaje . . . . . 241
FOXP2 . . . . . 248
Tirar la red para pescar un árbol de idiomas . . . . . 253
Todo el mundo me habla (Harry Nilson) . . . . . 256
Ancestros cantores y la escuela del rock . . . . . 260
9. Decisiones, conductas y creencias . . . . . 265
Cuando llegues a la bifurcación... tómala (Yogi Berra) . . . . 266
¿Cascos divinos, abducciones alienígenas y el blues? . . . . . 274
Y luego están los adolescentes. . . . . 278
10. El cerebro humano y la evolución cognitiva . . . . . 281
El punto de partida . . . . . 285
Los primeros homínidos . . . . . 289
«Simios bípedos» . . . . . 294
La fabricación de herramientas de piedra . . . . . 299
La presentación en sociedad . . . . . 303
La apropiación del viejo mundo . . . . . 308
El primer homínido cosmopolita . . . . . 310
Neandertales y cromañones . . . . . 315
La aparición de la conducta moderna . . . . . 321
¿Cómo ocurrió? . . . . . 326

Epílogo . . . . . 331
Cronología . . . . . 341
Glosario . . . . . 343
Bibliografía citada y otras lecturas . . . . . 359
Índice temático . . . . . 371

# Prólogo

No es necesario escudriñar minuciosamente los confines del cosmos para encontrar el misterio más profundo del universo. No tenemos más que buscar entre nuestras orejas. No hay mayor desafío para la mente humana que el empeño por comprender el funcionamiento del cerebro que la produce. Sin embargo, a pesar de unas enormes dificultades de orden práctico, el esfuerzo por comprender cómo produce el cerebro la mente es tal vez más fascinante intrínsecamente que cualquier otra búsqueda científica. Los otros muchos órganos que forman nuestro cuerpo se entienden bastante bien como máquinas cuyas funciones, aunque complejas, están definidas con bastante claridad. El desafío especial que plantea la máquina cerebral es que en su interior también habita un fantasma: nuestra conciencia naciente, cuyas propiedades exceden con mucho la suma de las conexiones internas y las descargas electromagnéticas que la originan.

Lo mismo ocurre, al menos hasta cierto punto, en el caso del «cerebro» de todas las demás criaturas que poseen uno: al fin y al cabo, cada una tiene algún tipo de conciencia, aunque sólo sea la capacidad rudimentaria de distinguir entre «uno mismo» y «otro». Pero, no obstante, el cerebro humano tiene algo muy especial. Hasta donde podemos decir, es único no sólo por su capacidad para responder a los estímulos del mundo que lo rodea, sino también para recrear literalmente ese mundo en la imaginación. Nadie sabe con exactitud cómo lo consigue, pero no sólo se comprende ya en gran medida su estructura y funcionamiento, sino los contextos zoológicos y evolutivos globales en los que han de incluirse el increíble y moderno cerebro humano y sus propiedades únicas. Estos son los temas de este libro y de la exposición del Museo Americano de Historia Natural (*El cerebro: la verdadera historia*) que lo inspiró.

Nuestro cerebro lleva en su estructura la marca de una ascendencia larga y tortuosa. Esta extraña máquina es algo que jamás habría dise-

ñado un ingeniero humano; y si no comprendemos su compleja y progresiva historia de quinientos millones de años, no sabremos explicar su aparente desorden. Por lo tanto, es necesario analizarlo desde el punto de vista evolutivo. Pero si un enfoque evolutivo para comprender el cerebro humano pudiera llegar a tener algún sentido, necesitamos saber también dónde encajamos nosotros dentro del gran orden de la vida. La razón es que el mundo vivo que nos rodea, y la manera en que está organizado, ofrece una serie de pistas sobre cómo logramos nuestra insólita excelencia intelectual. Sin embargo, ni siquiera la combinación de conocer nuestro lugar en la naturaleza y cómo llegamos hasta ahí es suficiente. También tenemos que comprender los mecanismos evolutivos que subyacen.

La mayoría de nosotros aprendimos en el colegio –si es que alguna vez lo mencionaron– que en esencia la evolución supone una mejora constante a lo largo de los tiempos. Pero durante nuestra propia vida académica llegamos a apreciar que la evolución es mucho más que esto. Y una vez que nos damos cuenta de que la evolución no es siempre el mecanismo de precisión que pensábamos muchos de nosotros, podemos empezar a valorar más plenamente los datos de nuestra historia biológica como seres humanos.

Nuestro registro fósil, los restos físicos que se conservan de nuestros antepasados, proporciona estos datos básicos. Entre otras cosas, los fósiles revelan el aumento espectacular que ha experimentado el tamaño del cerebro humano durante los últimos dos millones de años. Y en el caso humano hay algo más que es casi exclusivo. Porque, debido a los dos millones y medio de años, o más, transcurridos desde la invención de las herramientas de piedra, tenemos también el registro arqueológico, un historial directo de las conductas de nuestros predecesores homínidos. Comparando nuestros registros físicos y conductuales podemos comprender mejor los patrones de innovación del pasado en la evolución humana, y podemos empezar a reconstruir el marco dentro del cual afloró el extraordinario espíritu humano.

Aun así, no podemos hacerlo sin comprender primero los demás tipos de cerebros que existen en la tierra, y cómo es que algunos seres vivos se las arreglan a las mil maravillas sin ninguna clase de cerebro. Y también tenemos que saber cómo funciona hoy nuestro cerebro. Por ahora sigue siendo un misterio cómo se genera exactamente nuestra conciencia humana única. Pero ya se conoce mucho acerca de los procesos cerebrales a nivel molecular, anatómico y funcional; y las nuevas

técnicas de obtención de imágenes nos han ofrecido un conocimiento sin precedentes del funcionamiento de nuestro cerebro. Esta tecnología nos permite ver en tiempo real qué ocurre de verdad en el cerebro humano cuando está sometido a estímulos específicos o desempeña unas tareas en particular. Hemos desarrollado también una apreciación avanzada de la estructura «laminar» del cerebro y de cómo se relaciona esto con las funciones cada vez más complejas que han adquirido los cerebros de los vertebrados a lo largo de los tiempos.

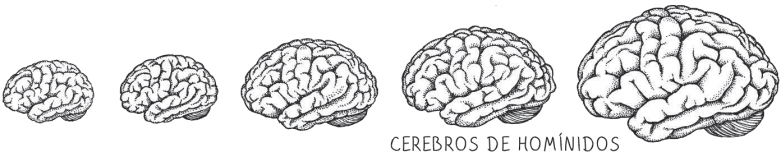
En este libro examinaremos todos los factores que llevaron a nuestra capacidad para «pensar en el pensamiento», y veremos cuán única es nuestra forma moderna de procesar la información. Gracias a algunos avances notables, llegaremos a comprender bien la auténtica complejidad (y la impenetrabilidad) de los procesos de toma de decisiones que tienen lugar en nuestro cerebro, y estudiaremos cómo el desorden (y la creatividad) de nuestros procesos mentales son el resultado de la larga y ajetreada historia evolutiva del cerebro. Veremos cómo las cualidades de nuestra mente que más valoramos son «emergentes», y no productos perfeccionados de la inexorable selección natural.

También miraremos hacia el futuro de nuestro cerebro. Somos los últimos en llegar y los únicos herederos homínidos de la tierra. Sin embargo, en nuestra corta ocupación hemos producido un mayor impacto en el planeta que cualquier otra especie. Gran parte de los efectos negativos de la actividad humana son productos secundarios: consecuencias involuntarias de una actitud temeraria. ¿Es posible que la evolución haga que administremos mejor nuestro entorno? ¿Podemos esperar que la ingeniería genética nos haga más responsables o más eficaces o sencillamente mejores? ¿O vamos a tener que aprender a vivir con nosotros mismos tal como somos? Esperamos demostrar que somos capaces de comprender estas importantes cuestiones siempre que nos mantengamos en un contexto evolutivo; y de hecho puede que incluso seamos capaces de lidiar con las consecuencias de nuestras actividades sólo si admitimos y compensamos el desorden de nuestros procesos mentales.

# EL CEREBRO

1

# La naturaleza de la ciencia
## *El funcionamiento de nuestro cerebro*



CEREBROS DE HOMÍNIDOS

¿Qué significa pensar en el pensamiento? Sólo los miembros de nuestra especie pueden hacer esta pregunta. Ningún otro organismo de este planeta posee la estructura física y neuronal para poder llegar siquiera a plantearla. Y la respuesta supone a veces un viaje intelectual intrincado, si bien uno cuyo destino es el cerebro humano. Comprender cómo adquirimos nuestro particular carácter cognitivo humano moderno requiere examinar muchos tipos de pruebas, gran parte de ellas recogidas del estudio de una enorme variedad de organismos vivos, pero siempre en un contexto evolutivo. El enfoque evolutivo culmina en la historia más intensa y espectacular de todas: cómo, después de varios millones de años peleando contra muchas otras especies de homínidos por un espacio ecológico, una única estirpe de nuestra familia zoológica logró eliminar toda competencia hasta que no quedó más que un actor en el escenario evolutivo humano: nosotros.

Nuestro cerebro gobierna casi todas las acciones que emprendemos. Desde el punto de vista conductual, es el que hace que cada uno de nosotros sea un individuo único. Y en conjunto, el cerebro humano, extraordinario y sin precedentes, es el que hace posible que nuestra especie sea la entidad psicológicamente compleja, sumamente característica y en ocasiones extraña, que es. Este libro trata de esta masa delicada, complicada en su configuración, y sin embargo muy adaptable, que reside en el interior de nuestra inusualmente grande bóveda craneal y que nos permite a cada uno de nosotros experimen-

tar el mundo del modo en que sólo los humanos lo hacen. Trata de los orígenes sencillos del cerebro y de su larga historia evolutiva: de cómo está estructurado, cómo funciona y cambia a lo largo de la vida, y de cómo hemos llegado a saber lo que sabemos –tanto y sin embargo tan poco– sobre el más misterioso de los órganos.

## UN DESORDEN EVOLUTIVO POCO ELEGANTE PERO BASTANTE EFICAZ

Por mucho que queramos jactarnos de que nuestro cerebro actual ha permitido a nuestra especie conseguir tanto, el psicólogo cognitivo de la Universidad de Nueva York Gary Marcus lo ha equiparado a un «apaño»: las típicas soluciones poco elegantes pero eficaces que aporta un manitas de la mecánica a los problemas. Como veremos más adelante, esto es así porque, cuando se examina, resulta ser una solución improvisada a una larga sucesión de problemas evolutivos. El cerebro humano no es el único en esto, ya que el órgano «desordenado» que habita en nuestra cabeza es sólo un ejemplo del tipo de historia embrollada que acumula la mayor parte de las estructuras de los organismos vivos; pero puede que sea el más maravilloso de los ejemplos.

Si tuviéramos que diseñar un cerebro empezando desde cero, sin duda no se parecería al nuestro ni funcionaría como él. Puede que se pareciera mucho a un ordenador moderno, o algo aún más elegante, pero con toda seguridad no sería el aparato enrevesado de Rube Goldberg que tenemos dentro de la cabeza. Como ejemplo de lo poco eficaz que resulta el diseño de nuestro cerebro, baste observar cómo almacenamos los recuerdos. La forma más fácil de almacenar algo es darle una signatura, ponerlo donde le corresponda almacenarse según esa signatura y llevar un registro de todas las signaturas. Los bibliotecarios lo hacen, también los científicos de museos, y gran parte de la vida moderna cotidiana de los hombres consiste en dar signaturas a las cosas de modo que podamos almacenarlas con lógica para recuperarlas con facilidad, ya sea en tarjetas, notas adhesivas, hojas de cálculo Excel o en carpetas de ordenador. En efecto, nuestros ordenadores son probablemente el epítome de cómo *debería* el cerebro humano almacenar cosas. Pero aunque nuestro cerebro tenga los conocimientos suficientes para diseñar ordenadores que sean sistemas eficaces de almacenaje y recuperación de informaciones –y de hecho ha ideado métodos

muy eficientes y casi perfectos en este ámbito–, los recuerdos que habitan dentro de nuestro cerebro no están almacenados de una manera eficaz en absoluto. Por esta razón olvidamos tantas cosas y tan a menudo nuestros recuerdos son confusos. Si las últimas estimaciones sobre la poca fiabilidad de los testimonios de testigos en procesos criminales son exactas, entonces nuestro cerebro es un desastre en cuestiones de almacenamiento y recuperación.

Además, la memoria es sólo un ejemplo de nuestras incompetencias mentales: otros muchos aspectos de nuestro cerebro están creados con menos lógica todavía. ¿Por qué? La razón es sencilla y es histórica. Los seres humanos sólo somos una especie de un gran Árbol de la Vida que se ha ido separando y ramificando a partir de un único antepasado común que vivió hace más de tres mil quinientos millones de años. Como consecuencia de este experimento de tres mil quinientos millones de años, nuestro genoma –y los genomas de todos los organismos que han vivido alguna vez en este planeta– transporta datos de nuestro pasado, nuestro presente y aún nuestro posible futuro. Como veremos, la evolución no es el proceso de optimización que muchas veces se cree que es, sino que con frecuencia es rehén de la historia y el azar. Y esta es la razón por la que nuestro cerebro está tan desordenado.

## PENSAR EN EL PENSAMIENTO

Empecemos este libro planteando la cuestión de cómo hacemos para tratar de comprender el cerebro humano y sus propiedades, ya que es fundamental para entender todo lo que viene a continuación. Todas las especialidades que contribuyen a nuestro conocimiento del cerebro como entidad evolutiva y funcional son disciplinas científicas. Y muchos de los frutos del cerebro –por ejemplo, la ficción, la poesía y las ideas espirituales– apenas son susceptibles de un análisis científico, porque la ciencia trata únicamente de lo que podemos observar acerca del mundo material. Pero en la medida en que el cerebro humano es un objeto material en funcionamiento sobre el que es posible realizar observaciones reiteradas, es también un objeto apropiado –tal vez *definitivo*– para aplicarle el método científico de comprensión del mundo que las propiedades únicas del cerebro humano hacen posible.

La interpretación científica se diferencia de todos los demás tipos de conocimiento en que es explícitamente *provisional*. Tal vez uno de los

mayores mitos de la edad moderna es que la ciencia es un sistema autoritario que acumula montones de hechos objetivos inmutables. La realidad es todo lo contrario. Porque aunque depende de la creatividad y la intuición humanas como cualquier otro empeño intelectual, la ciencia se basa en la duda y las preguntas que conlleva, y eso es lo que la distingue. De hecho, la frase «científicamente demostrado» es uno de los tópicos más engañosos que oímos. La ciencia no trata realmente de probar nada. En cambio, los científicos se acercan poco a poco a una descripción más precisa y exacta de la naturaleza proponiendo ideas sobre ella (que es donde entra la creatividad) y luego descartando aquellas que no resisten un examen riguroso (que es donde la duda entra en escena). Naturalmente, para que los futuros científicos hagan lo mismo, esas ideas se han de poder comprobar explícitamente, de modo que para que una idea sea científica tiene que formularse teniendo en cuenta que se puede refutar. Si una idea no se puede comprobar de alguna manera en el mundo observable, entonces no es una idea estrictamente científica (aunque en su trama más amplia la ciencia puede intercalar nociones que en la práctica no se pueden comprobar directamente, al menos con las herramientas que tenemos a mano en la actualidad).

Algunas ideas científicas han resistido el análisis de generaciones de científicos durante décadas o incluso siglos; otras puede que sean falsificadas en el futuro. Si se rebaten, tendrán entonces que desestimarse, por muy ingeniosas que sean o muy apegados a ellas que estén sus autores. Este proceso de proponer y probar hipótesis hace de la ciencia la actividad colectiva suprema. Es mucho más difícil imaginar un mundo con un solo científico que imaginarlo sin ninguno en absoluto. Al fin y al cabo, la ciencia es un sistema autocorrector que depende de su propio régimen de vigilancia interno, un régimen que se mantiene gracias a una pluralidad de ideas que es esencial. En realidad, esta es una de las cosas que hace que un científico sea tan sosegado: a diferencia de un ingeniero o un médico, cuyas decisiones han de ser correctas o las consecuencias pueden ser desastrosas, un científico se puede equivocar y seguir pensando que está realizando una valiosa aportación a un proceso en marcha, un proceso que es mucho más importante que cualquier individuo. Los resultados de no saber nunca con certeza que se tiene razón y tener que admitirlo de inmediato cuando resulta que se está equivocado, son pequeños precios que hay que pagar por esta clase de satisfacción.

Así pues, el conocimiento científico es un blanco en constante movimiento. Es un proceso, no un producto permanente, ya que el producto propiamente dicho está siempre cambiando; lo cual, después de todo, es de lo que trata la literatura científica, inmensa y creciendo a un ritmo cada vez más rápido. Es más, en contra de la creencia habitual, el proceso propiamente dicho no está siquiera unificado por el «método científico» del que oímos hablar constantemente. El gran biólogo Peter Medawar, tal vez el mejor escritor científico de todos los tiempos, hizo nuestro comentario favorito sobre este tema en 1969: «Pregunta a un científico qué considera él que es el método científico y adoptará una expresión que es al mismo tiempo solemne y esquiva: solemne, porque cree que debe manifestar una opinión; esquiva, porque no sabe cómo ocultar el hecho de que no tiene una opinión que manifestar». La realidad es que no hay un método científico sino muchos, cada uno de ellos diseñado específicamente para adecuarse al fenómeno que se está investigando. Más que una fórmula rígida que dicta cómo se debe proceder, la ciencia es sencillamente una aproximación al saber.

Sin embargo, a pesar de que el gran proceso científico es amorfo, es de toda justicia concluir que, como resultado de su funcionamiento, la imagen que hoy tenemos del universo y su contenido es más precisa de la que teníamos ayer, aunque casi con toda seguridad es menos exacta de la que tendremos mañana. Y la suma total del conocimiento científico en cualquier momento nos ofrece, sin duda, una plataforma lo bastante firme como para que podamos avanzar, con constancia y seguridad, hacia el conocimiento del mañana. De hecho, algunas ideas y observaciones científicas de la naturaleza han demostrado ser tan duraderas y resistentes a la falsificación que las podemos considerar el equivalente científico de la realidad, aunque la comprobación continuará siempre.

## COMPARTIDOS, DERIVADOS. DERIVADOS, COMPARTIDOS. ESO ES TODO LO QUE SABÉIS DE LA TIERRA Y TODO LO QUE NECESITÁIS SABER

Una de esas hipótesis sólidas sobre el mundo es el concepto de evolución. Un siglo y medio después de que fuera propuesta, la evolución sigue siendo la única hipótesis científica que tenemos que realmente *predice* la organización que observamos en el mundo vivo, a saber, que

los organismos se encuadran claramente en un sistema de grupos dentro de grupos que se puede representar mediante un diagrama ramificado (un «árbol») en el que las bifurcaciones se repiten. Este modelo se ha corroborado una y otra vez a medida que nuestro conocimiento de la biosfera ha ido creciendo a pasos agigantados.

Hoy sabemos que los orígenes de la biología evolutiva moderna se remontan al año 1858, cuando los naturalistas británicos Charles Darwin y Alfred Russel Wallace presentaron sus teorías de la evolución en una reunión de la Sociedad Linneana de Londres. Este acontecimiento histórico apenas fue valorado en aquel momento por el giro decisivo que suponía, pero la publicación un año después de la obra magistral de Darwin *El origen de las especies mediante la selección natural* cautivó al mundo. El propio Darwin calificaba la evolución de «descendencia con modificaciones», una forma muy nítida de expresar que todos los organismos vivos, por muy dispares que sean, están relacionados por ascendencia. Esto es lo que da lugar al modelo de naturaleza que acabamos de señalar.

Empezando por la base del árbol que describe este modelo, un único antepasado común da lugar a las tres ramas principales o dominios de vida: Bacteria, Archaea y Eukarya. Cada uno de estos grandes grupos se diversificó reiteradamente del mismo modo para producir la enorme profusión de subgrupos que vemos en la actualidad. El Eukarya (los eucariotas), por ejemplo, consta de numerosos grupos de organismos, a veces de aspecto muy distinto, que sin embargo están unidos por poseer células complejas con núcleos envueltos por una membrana. El núcleo era, desde luego, un rasgo que estaba presente en el antepasado común del grupo. Los eucariotas comprenden, entre otros organismos, todos los animales y plantas, desde las simples criaturas unicelulares pasando por los musgos, plantas verdes, hongos, esponjas, platelmintos, estrellas de mar, tiburones, ranas, serpientes y cocodrilos hasta los ornitorrincos y los seres humanos. A su vez, cada uno de estos y otros grandes subgrupos de eucariotas se subdividen una y otra vez hasta encontrarnos literalmente con millones de especies.

Reconocemos la secuencia de las escisiones evolutivas que dieron lugar a esta diversidad casi inimaginable al buscar rasgos «derivados» (como el núcleo envuelto por una membrana en el caso de los eucariotas) cuya posesión vincula a los diversos grupos y subgrupos. Cualquier aspecto que compartan todos los miembros de un grupo concreto, excluidos todos los demás, deberá su presencia en principio a la

herencia de su antepasado común, y será la prueba fehaciente de la unidad genealógica del grupo. Además del núcleo celular, otra característica derivada clásica la constituyen las plumas de las aves, cuyo descubrimiento en ciertos fósiles de dinosaurio en un estado de conservación increíble, nos ha permitido corroborar hace poco la idea de que estos dos grupos están íntimamente relacionados. Características como ésta nos permiten reconocer los límites de cada grupo excluyendo de él las especies que no las tienen o que al menos no descienden de antepasados que la poseían; sirven también para admitir en el grupo a nuevos miembros potenciales a medida que se vayan descubriendo.

En cambio, los muchos rasgos «primitivos» del antepasado común que no eran exclusivos suyos se encontrarán más extendidos de lo que es únicamente el grupo descendiente. De este modo, no se pueden utilizar para determinar la pertenencia a ese grupo, aun cuando todos los miembros del grupo los posean. Así que, si bien una inspección somera de la forma de sus cuerpos nos indicaría casi seguro que un salmón y un pez pulmonado estaban más estrechamente relacionados entre ellos de lo que cada uno lo está con una vaca, del examen resulta que el pez pulmonado y la vaca pertenecen a un único grupo que comparte un antepasado común mucho más reciente del que tiene cada uno con el salmón. El pez pulmonado y el salmón tienen un parecido superficial porque siguen compartiendo el hábitat acuático que ocupaba el ancestro aún más lejano de los tres. La vaca ha llegado a ser tan peculiar en virtud de la adaptación a un entorno completamente nuevo, mientras que el salmón y el pez pulmonado, que se encuentran en ramas independientes del árbol, se mantuvieron relativamente sin cambios. Otros factores que vienen a complicar la comprensión de la geometría del gran Árbol de la Vida se encuentran cuando los organismos han cambiado tanto durante largos periodos de tiempo que quedan pocos caracteres reconocibles que los unan, o en casos de «convergencia» en los que criaturas con un parentesco remoto han desarrollado adaptaciones muy similares.

Los organismos, pues, poseen rasgos que nos pueden confundir y hacernos pensar que son iguales. Son los que Darwin llamaba «analogías». Hoy día los llamamos «convergencias» o, en la jerga de la genealogía, «homoplasias». Estos rasgos aparecen de manera independiente en linajes no relacionados. A modo de ejemplo, pensemos en las alas. Existen muchos tipos de alas entre los animales. De hecho, incluso algunos gametos de plantas pueden planear, flotar en el aire y revo-



Analogía de las alas de los animales. Un ala de murciélago, un ala de ave y un ala de insecto. Si bien estas estructuras tienen todas la misma función (transporte del animal que las posee por el aire), no derivan de la misma estructura ancestral. De ahí que sean convergencias, u homoplasias, las unas con respecto a las otras.

lotear. Pero observemos tres tipos de alas de animales: el de las aves, los murciélagos y las moscas.

Es muy fácil ver que el ala de la mosca no es «igual» que el ala del murciélago o del ave. No tiene huesos que sostengan el alerón de tejido que se usa como dispositivo de vuelo, y su musculatura no deriva de las mismas células precursoras que las de los vertebrados (el ave y el murciélago). De modo que podemos decir perfectamente que las alas de la mosca (y desde luego todas las alas de los insectos) no son iguales que las alas de los vertebrados.

Las alas de los murciélagos y de las aves son un poco más difíciles de interpretar, pero es bastante fácil ver que no son equivalentes salvo en la función, ya que la disposición de los huesos del ala y su origen a partir de células precursoras son completamente diferentes. De modo que de la observación minuciosa de la estructura de los rasgos podemos hacernos una idea de lo que es «igual» y lo que no lo es.

La manera más fácil de proceder a determinar el carácter de «igualdad» es examinar las relaciones de las especies en cuestión e interpretar la evolución del rasgo que llamamos «alas» en el contexto de esas relaciones. Está claro que entre las moscas, las aves y los murciélagos, la relación entre aves y murciélagos es más estrecha, quedando las moscas como «las excluidas». Cuando nos fijamos sólo en estos tres tipos de organismos, vemos que tener alas es una buena característica definitoria. Pero la verdad es que existen millones de especies, insectos la mayoría, que deberíamos añadir a este árbol más pequeño. Y si lo hacemos, nos damos cuenta de que el simple hecho de tener alas ya no define nuestro grupo mosca-ave-murciélago. Esto se debe a que existen muchas criaturas que están más estrechamente relacionadas con los vertebrados que no tienen alas (como los erizos de mar o las

estrellas de mar). En consecuencia, lo que mejor explica las alas de los insectos es que aparecieron de forma independiente en el antepasado común de los insectos alados. Luego, podemos observar el modelo de las alas de las aves y los murciélagos. Las aves son un subgrupo de dinosaurios que casualmente tenían alas. Los murciélagos, en cambio, son mamíferos, y lo más seguro es que el antepasado común de los dinosaurios y los mamíferos no tuviera alas. Sólo tenemos que mirar los marsupiales y los mamíferos primitivos para darnos cuenta de que estas especies no tienen alas, y así la cadena del antepasado común se rompe, lo que significa que la aparición de las alas en las aves fue independiente de aquello que definimos como «alas» en los murciélagos.

## ¿PODRÍA SER EL ÁRBOL DE LA VIDA UNA TABLA PERIÓDICA DE LA EVOLUCIÓN?

En todos estos casos, la ciencia de la sistemática molecular («molecular» hace referencia a la molécula hereditaria ADN que es el centro de esta rama de la ciencia –más adelante oiremos hablar mucho del ADN– en tanto que «sistemática» es el nombre que se le da al estudio de la diversidad de los organismos y de sus mutuas relaciones), de reciente desarrollo, proporciona un potente instrumento para resolver la incertidumbre. De manera fortuita, y más bien inesperada, se ha visto que determinadas partes del filamento de ADN son muy conservadoras y resisten los cambios durante largos periodos de tiempo, de modo que los organismos con un parentesco remoto cuyo aspecto físico haya cambiado mucho desde que tuvieron un antepasado común, es posible que compartan genes muy similares y comparables directamente. Por otra parte, donde se produce la convergencia es probable que la estructura de los genes que son responsables de las semejanzas superficiales revele la historia subyacente que encierra.

La unidad más pequeña en que se divide la naturaleza es el organismo particular, que vive y muere con independencia de todo lo demás. Pero desde el punto de vista de alguien que trata de reconstruir historias evolutivas, la unidad más importante es la especie. Los científicos nunca han acordado una definición de lo que son las especies (en la actualidad existen casi treinta definiciones para elegir), pero el modo más útil de considerarlas es como grandes poblaciones de individuos que se entrecruzan libremente. Por ejemplo, nosotros, que pertenece-

mos a la especie *Homo sapiens,* no intercambiamos nuestros genes con ningún otro organismo (aunque en el pasado pudo haber algún intercambio biológicamente insignificante con parientes cercanos que ahora se han extinguido). Hoy día somos una entidad independiente, un actor bien diferenciado en la escena evolutiva. Podríamos extinguirnos compitiendo con otros organismos, pero ninguno de ellos nos aplastará nunca. A su vez, los géneros son agrupaciones compuestas de especies estrechamente relacionadas que han descendido de una única especie antepasada mediante lo que se conoce como «especiación». A lo largo de los tiempos, la escisión de los linajes distó mucho de ser un hecho excepcional: existe, por ejemplo, una cantidad sorprendentemente grande de especies de nuestro género *Homo* ya extintas y conocidas en el registro fósil de los últimos dos millones de años.

Los fósiles son restos de animales pretéritos (en la mayoría de los casos sólo dientes, caparazones y huesos) que se han conservado en rocas sedimentarias depositadas en el mar o en la tierra, principalmente en la orilla de ríos y lagos. Estas rocas se forman por acumulación de partículas procedentes de la erosión de rocas ya existentes y transportadas por el agua o el viento a nuevos lugares donde se depositan y puede que cubran y protejan restos de organismos muertos expuestos a la intemperie. De este modo, se crea un registro de vida a medida que los sedimentos que contienen fósiles se asientan, los más recientes encima de los más antiguos. Los fósiles terrestres proporcionan por lo general un registro esporádico de vida pasada, pero las series marinas son a menudo bastante continuas a lo largo de periodos de tiempo prolongados. El resultado final es un registro verdaderamente incompleto de las primeras etapas de vida; pero, no obstante, el registro fósil es inmenso, y es la única prueba directa que tenemos de la historia de la vida. Podemos averiguar las relaciones genealógicas de los organismos vivos a partir de sus semejanzas físicas y moleculares, y a partir de sus características moleculares podemos incluso hacer conjeturas acerca de cuánto tiempo ha pasado desde que diferentes organismos compartieron un antepasado común. Pero sólo el registro fósil nos ofrece una constatación material de los actores y acontecimientos reales de la larga escena evolutiva que se ha desarrollado durante los pasados tres mil quinientos millones de años. Los registros fósiles y los comparativos nos ofrecen una herramienta muy potente para corroborar la idea de la evolución propiamente dicha y también para recrear la espectacular historia evolutiva

que ha originado el mundo vivo, maravilloso y variado, que hoy en día vemos a nuestro alrededor.

Utilizando los instrumentos físicos y moleculares que tenemos a nuestra disposición, podemos construir un Árbol de la Vida que exprese las relaciones genealógicas entre los millones de especies que existen ahora en el mundo. Empezando por las puntas del árbol, podemos agrupar las especies en los géneros a los que pertenecen. Luego podemos aunar los géneros en grupos cada vez más completos hasta que todos los seres vivos estén incluidos en un gran sistema único. Tradicionalmente, este esquema se representaba por un diagrama vertical con bifurcaciones que bien parece un árbol verdadero, con un tronco en la base que produce ramas que a su vez producen ramitas y, por último, ramillas. Pero cuando se trata de tantos grupos como los que existen en el Árbol de la Vida, a menudo es más conveniente representarlos en un diagrama circular en el que las divergencias más recientes se producen más lejos del centro.

El método científico actual que utilizamos para clasificar los organismos vivos lo inventó el naturalista sueco Carolus Linnaeus (Carlos Linneo) un siglo antes de que Darwin y Wallace propusieran el concepto de evolución. Basándose simplemente en las similitudes físicas, Linneo pudo idear un sistema mediante el cual todas las especies se agrupaban con otras en un género, los géneros se agrupaban en órdenes, los órdenes en clases, y las clases en reinos. En contraposición al estilo de la jerarquía «militar», en la que un individuo puede pertenecer a un solo rango, en el tipo de jerarquía «inclusiva» que estableció Linneo cada especie pertenece a todos los rangos mencionados más arriba. De modo que, según esta clasificación, el *Homo sapiens* no sólo pertenece al género *Homo* sino también al orden Primates, a la clase Mamíferos y al reino Animalia. Desde los tiempos de Linneo se han añadido muchos otros de estos «rangos taxonómicos» para ayudarnos a expresar la apabullante diversidad de vida en la Tierra; sin embargo, es grato comprobar que esta ordenación básica preevolutiva encaja todavía perfectamente con el patrón de semejanza que podríamos esperar que produjera el proceso evolutivo, en el cual una antigua especie precursora da lugar a varias especies descendientes, cada una de las cuales se diversifica del mismo modo en una cadena interminable.

Proponemos que el simple proceso de catalogar y dar nombre a los objetos que nos rodean y que son importantes para nuestra existencia es en sí mismo ciencia; y así, en cierto sentido, los científicos debieron

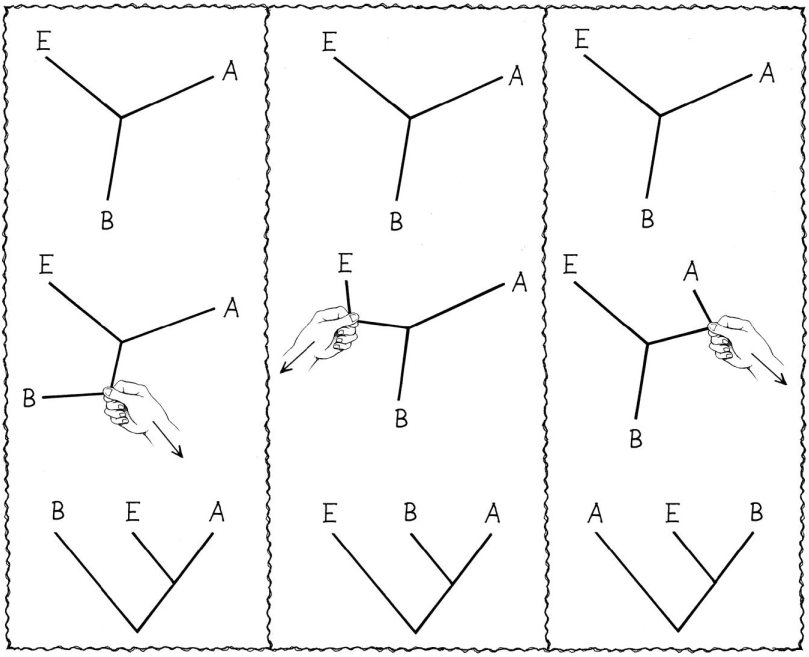
de haber existido desde los inicios del lenguaje. El proceso mental lógico que interviene en la determinación de que un objeto de la naturaleza tiene esencia, y por lo tanto es posible darle un nombre, es un proceso científico importante que utiliza la taxonomía como vehículo de expresión. La periodista Carol Yoon ha recuperado hace poco el término *umwelt* para describir la necesidad básica que tienen los hombres de darle nombre a las cosas. El *umwelt* alude a un entendimiento de que los seres humanos formamos parte del mundo natural; y esta comprensión es tan básica para nuestra existencia que para situarnos en el mundo natural *necesitamos* que las cosas tengan nombre. De lo contrario, nada tendría sentido para nosotros. El *umwelt* es como una mosca muy molesta zumbando sobre nuestras cabezas y que siempre nos recuerda que formamos parte de un sistema natural que *requiere* una explicación. El único modo de lidiar con ello es dando un nombre a las cosas y utilizar esos nombres para ayudar a proporcionar entendimiento.

La base científica que hay detrás de dar un nombre a las cosas es bastante sencilla, y siempre hemos razonado y pensado en el mundo natural centrándonos en sus fundamentos filosóficos. Pongamos que eres un ser humano que vive en África hace veinte mil años. Ves un organismo. El aspecto de este organismo se transmite a tu cerebro y se procesa para ofrecerte una «imagen» suya. Sirviéndote de lo que sabes o recuerdas de tus experiencias, diseccionas sus componentes en tu mente. Evalúas si algunas de las partes son únicas o las comparte con otros organismos. En tu mente te planteas si algunos aspectos del organismo son lo bastante importantes para ti como para ponerles nombres. Si algunos de esos aspectos se hallan en muchos otros organismos, te dicen que éste pertenece a un grupo mayor de cosas. De modo que si tiene cuatro patas irá con los demás animales tetrápodos. Pero mientras en ciertos aspectos podrías decirte: «Creo que se parece a algo que he visto antes», otros de sus rasgos podrían provocar la respuesta: «Creo que no se parece a nada que haya visto antes». A la vista de estas hipótesis alternativas, realizas más observaciones y al final te convences de que es algo a lo que merece la pena dar un nombre, más que nada después de verificar la hipótesis de que has descubierto un organismo nuevo. Aun así, resulta que el nombre que le has puesto es otra hipótesis y objeto de una nueva comprobación. De modo que aún siendo un ser humano primitivo estás haciendo ciencia: formulando hipótesis sobre la naturaleza que son coherentes y verificables.

Por supuesto, la cantidad de espacio en el mundo es finita, así que simultáneamente al proceso de diversificación ha habido también una intensa poda de ramas a medida que gran cantidad de especies han sucumbido a la extinción en la escena ecológica. Pero en general, es increíble cómo la secuencia básica de los acontecimientos históricos se ha conservado en la diversidad del mundo vivo. En la actualidad podemos encontrar a nuestro alrededor especies que, en líneas generales, corresponden a la mayoría de las principales etapas evolutivas por las que ha transcurrido la vida durante los últimos miles de millones de años. Esto no sólo nos da una idea sorprendente del proceso histórico por el que llegamos a convertirnos en lo que somos hoy día, sino que nos permite interpretar los fósiles que tenemos con todo lujo de detalles.

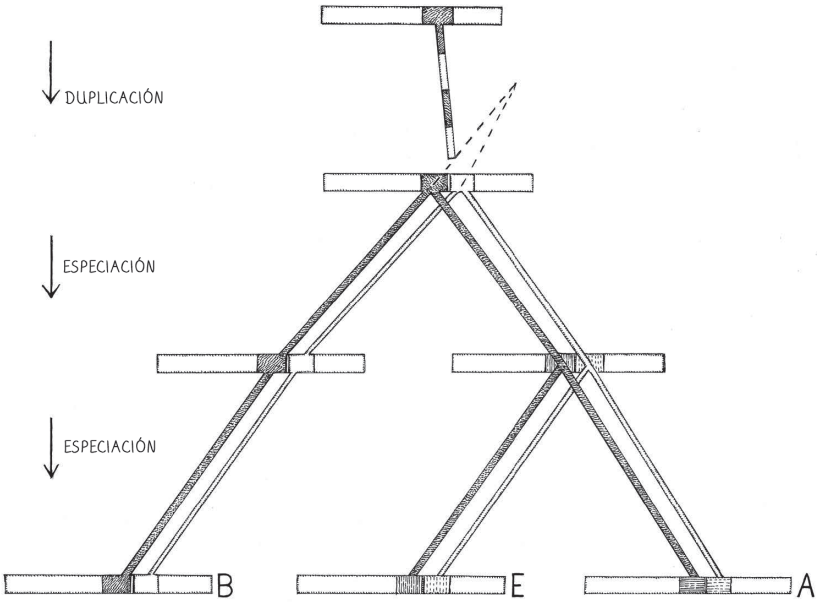
Sin embargo, esto no significa que construir el Árbol de la Vida sea fácil o que no haya campos en los que aún persistan importantes interrogantes. De hecho, en la base del árbol hay un gran signo de interrogación. Los científicos tardaron mucho tiempo en decidirse por la división básica de los seres vivos en Bacteria, Archaea y Eukarya que utilizamos en la actualidad, y aún hoy sigue sin estar clara la relación exacta entre estos tres grupos principales. De una manera intuitiva podríamos pensar que de ellos las bacterias y las arqueas serían los que están más estrechamente relacionados por una ascendencia común, ya que, como criaturas unicelulares carentes de núcleo, los componentes de ambos grupos se ven muy similares al microscopio. Pero ¿y si este es un parecido puramente primitivo y debiéramos conceder más importancia al hecho de que las bacterias y los eucariotas participan de una estructura análoga de la membrana celular? ¿O al hecho de que las arqueas y los eucariotas tienen fragmentos de ADN en sus genes que no tienen las bacterias? Se trata de un verdadero enigma, y en gran parte es porque carecemos de lo que se conoce como un «exogrupo».

Como hemos visto, la principal manera de decir qué caracteres de los que estamos examinando son primitivos, cuáles son derivados (y por lo tanto nos informan de la ascendencia) y cuáles son convergentes, es a través de su distribución en organismos de interés. La mejor forma de probar que un rasgo es primitivo es mostrar que también está presente *fuera* del grupo que estamos examinando. En cambio, es probable que los rasgos únicos sean derivados. Los exogrupos, pues, nos permiten polarizar o «arraigar» las relaciones de estos grandes grupos. Pero a no ser que encontremos un exogrupo en Marte o agazapado en




Cambio de árboles cambiando la raíz. Las manos tiran de la rama que quedará más cerca de la raíz. Con un poco de imaginación, el lector debería poder ver el cambio de las topologías de los árboles a medida que se tira de la raíz.

algún lugar ignoto de nuestro planeta, al arraigar el Árbol de la Vida nos vemos limitados a usar otro medio menos satisfactorio. Una posibilidad es utilizar secuencias de genes de ADN que se han duplicado en el genoma. Cuando los genes se repiten, se dan historias paralelas para cada uno de los genes resultantes; pero puesto que los dos tipos de genes duplicados están relacionados entre sí, podemos ponerlos en el mismo árbol y observar dónde arraiga cada uno. Cuando se utiliza este método se demuestra que la relación de las Archaea con nosotros los Eukarya es más estrecha que con las Bacteria. Este extraño resultado revela que la falta de membrana nuclear que define al grupo Procariota, que abarca las Archaea y las Bacteria, no es un carácter derivado, y tal vez deberíamos dejar de usar el término «Procariotas» para definir un «verdadero» grupo de organismos.




Las duplicaciones de los genes es una parte omnipresente en la evolución de los genomas. El diagrama muestra un único cromosoma en la parte superior. Este cromosoma se duplica (representado por una casilla blanca y otra gris) en el antepasado común de las tres especies A, B y E. Luego el antepasado común se separa en dos linajes, y luego el linaje que no es B se separa en dos linajes (A y E). El resultado son dos filogenias genéticas, una para el gen oscuro y una para el gen claro. La línea de puntos muestra dónde conectan las dos filogenias genéticas a través de un ancestro común. En estos casos, los científicos han de ser conscientes de la existencia de múltiples familias genéticas. Por ejemplo, un estudio que utilice el gen oscuro de B y E y el gen claro de A podría inducir a error.

## LA HISTORIA DE UNA CIENCIA HISTÓRICA

Una de las actividades realmente interesantes de la biología es el análisis de la distribución de los rasgos entre los organismos que nos interesan con el fin de reconstruir cómo eran las especies antepasadas en todos los diversos puntos de ramificación del árbol. De esa manera, podemos comparar los fósiles conocidos de dichas especies reconstruidas para ver cómo podrían encajar en el esquema de las relaciones.

Pero seguimos padeciendo el inconveniente de que todo rasgo nuevo deriva sólo en un nivel del árbol. Un carácter derivado en un antepasado será primitivo en cada uno de sus descendientes, independientemente de cuánto se diversifique después. Por lo general, esto no dejará demasiados rasgos derivados a la consideración del pobre taxónomo, y en el caso que acabamos de comentar, ya que en principio cada antepasado debe ser primitivo con respecto a todos sus descendientes y no existen exogrupos a los que recurrir, puede que no haya forma –incluso en principio– de reconstruir la naturaleza exacta de la especie antepasada que dio origen a la vida en la Tierra. Tales son las realidades de la ciencia: tenemos que estar preparados para reconocer cuándo no tenemos nada más que decir y aceptarlo sin más.

Por suerte, todavía hay mucho que decir sobre la evolución, y también mucho que discutir, como lo ha habido desde el principio. Cuando Darwin publicó *El origen de las especies* en 1859 se levantó un clamor inmediato en contra, ya que sus consecuencias para los orígenes del hombre (que Darwin omitió expresamente) cayeron en una opinión pública sumida en el mito de la creación cristiana. Pero posteriormente, la idea de un lugar de la humanidad integrado en el resto de la naturaleza llegó a aceptarse con notable rapidez. Y dentro de la ciencia sigue siendo indiscutible, aun cuando los detalles hayan sido objeto de un debate cada vez más acalorado. Sin embargo, las ideas de Darwin encontraron a la larga una mayor oposición, no por parte del público en general sino dentro del propio ámbito científico; no se cuestionaba la proposición básica de la descendencia con modificación sino el mecanismo de cambio que había propuesto.

Para lograr que se aceptara la idea de que la vida había cambiado con el tiempo, Darwin tuvo que explicar cómo pudo producirse semejante cambio. Su ingeniosa solución fue la teoría de la «selección natural». Se fundaba en la observación de que todas las especies varían físicamente. Cada individuo presenta unas características que ha heredado de sus padres y que son ligeramente distintas respecto a los demás miembros de su especie. Es más, en cada generación esos padres producen más descendencia de la que puede sobrevivir para llegar a la edad adulta y reproducirse. Este hecho indiscutible conduce sin remedio a un proceso constante de selección entre los individuos de cada generación, y Darwin propuso que aquellos individuos que logren mayores índices reproductivos son los que están mejor «adaptados» a las condiciones imperantes.

Puesto que los individuos mejor adaptados dejan más descendencia comparados con los peor adaptados que son descartados del equipo reproductor, esta competencia por la vida y la reproducción produce, generación a generación, un cambio de apariencia en cada población, ya que las malas adaptaciones desaparecen para ser sustituidas por innovaciones más ventajosas. De este modo, el cambio se produce muy despacio por medio de la acumulación gradual de pequeñas diferencias a lo largo de las generaciones. Al final, éstas se suman a las modificaciones importantes de los linajes en proceso de evolución. Es una historia maravillosa y está claro que hay algo de verdad en ella: sin duda la suficiente como para que uno de los colegas de Darwin, al leer *El origen*, exclamara en tono de reproche: «¡Qué estúpido no haber pensado en ello!». Además, a mediados del siglo XIX el proceso en cuestión, espantosamente lento, se volvió por completo verosímil a juzgar por la larguísima historia que los geólogos atribuían con tanto afán a nuestro planeta. Para cuando Darwin estuvo preparado para presentar sus ideas al público, pocos científicos creían ya que hubieran transcurrido seis mil años desde la Creación, lo que se había calculado a partir del recuento del gran número de veces que aparece «engendró» en el libro del Génesis.

No obstante, con la consolidación de la ciencia de la genética a comienzos del siglo XX se empezaron a proponer mecanismos alternativos para el cambio evolutivo. Los primeros genetistas señalaron, por ejemplo, que a veces se observaba que las principales innovaciones en los organismos aparecían de repente, *de novo*, y no a resultas de la lenta adición de pequeños cambios, y que esto hizo pensar a algunos de aquellos investigadores que ciertas especies nuevas podrían ser consecuencia de sucesos genéticos más o menos instantáneos y no de un cambio gradual. El debate se encarnizó durante décadas hasta que, al despuntar el segundo cuarto del siglo XX, unos modelos matemáticos y la aplicación de una inteligencia poderosa convergieron en lo que llegó a conocerse como síntesis evolutiva.

En pocas palabras, la Síntesis enseñaba que casi todos los fenómenos evolutivos, incluso las modificaciones radicales, podrían tener su origen en la lenta acumulación de pequeños cambios genéticos durante largos periodos de tiempo. Incluso la separación de los linajes fue un proceso gradual, ya que poblaciones de la misma especie aisladas por barreras geográficas poco a poco divergieron por sus propios canales evolutivos, lo mismo que un río podría bifurcarse si encuentra en medio de su curso un afloramiento rocoso especialmente duro.

Esta es una idea muy atractiva para nuestras mentes humanas reduccionistas, con toda la elegancia de la simplicidad. Pero tras un periodo de varias décadas durante el cual apenas se cuestionó, la Síntesis empezó a tropezarse con el desorden inherente de la naturaleza. El primer gran ataque a los fundamentos de la Síntesis llegó a comienzos de la década de 1970 de parte de los paleontólogos, lo que tal vez no resultara sorprendente. La Síntesis había marginado a los estudiosos del registro fósil; porque si bien los genetistas tenían la clave de los mecanismos evolutivos y los taxónomos eran esenciales para ordenar los grandes patrones surgidos del proceso evolutivo, los paleontólogos habían sido relegados a un papel de oficinista bastante modesto consistente en documentar los detalles de la historia de la vida. Sin embargo –y el propio Darwin tuvo plena consciencia de ello–, el registro fósil revela muchísimas discontinuidades en esa historia, y de hecho la paleontología se había adaptado a la Síntesis mediante un ardid: la afirmación de que todas estas discontinuidades no eran más que artefactos debidos al carácter incompleto del registro. Entonces los paleontólogos disidentes afirmaron a su vez que, de hecho, las continuas lagunas del registro fósil en constante expansión podrían dar información. Señalaron que la aparición de las especies en el registro fósil era más bien brusca y que luego se quedaban durante periodos de tiempo que podían ser prolongados (en ocasiones nada menos que decenas de millones de años) antes de ser sustituidas de golpe por otras especies.

Esto inició el camino hacia un segundo examen crítico del proceso evolutivo que llevó a algunas conclusiones reveladoras. Entre ellas, tal vez la más importante fue que el cambio evolutivo pudo deberse muy a menudo a sucesos fortuitos más que al ajuste genético que implica la modificación de los linajes a largo plazo mediante la selección natural.

## MANTENER AL MÉDICO ALEJADO

En la década de 1970, los biólogos evolutivos Stephen Jay Gould y Richard Lewontin señalaron que en aquella época la percepción de la evolución por parte de sus contemporáneos tenía tendencia a buscar y (lamentablemente) a encontrar siempre adaptación. La adaptación es el fruto de la selección natural que constituía el elemento esencial de Darwin para explicar el mundo natural. Y puesto que la selección natural se aceptaba como el gran factor explicativo en biología, reconfor-

taba pensar que casi todo lo que los científicos veían en el mundo natural era producto de este importante proceso. Al fin y al cabo, cuando vemos algo extraño como el cuello de la jirafa, el pulgar del panda, o los cascos del caballo, ayuda a creer que sabemos la razón por la que existen. Sin embargo, esta tendencia era desafortunada porque reflejaba un enfoque poco científico del estudio de la evolución: una forma narrativa de explicar el mundo natural que Lewontin y Gould denominaron cuentos de «así fue como», en honor al gran escritor Rudyard Kipling. Señalaron que esta línea de ataque dejaba poco espacio para comprobar las hipótesis y, lo que es peor, para su rechazo. Y, como indicó el filósofo Karl Popper, la ciencia moderna se basa en el proceso «hipotético-deductivo» según el cual se proponen hipótesis y posteriormente se rechazan las falsas.

Además, como señalaron Gould y Lewontin, el enfoque narrativo era problemático no sólo porque era poco científico, sino también porque se había vuelto paradigmático. Y pensaban que esto era perjudicial tanto para la expansión de la teoría evolutiva como para perfeccionar las explicaciones del mundo natural. Utilizaron el personaje del dr. Pangloss de la obra de Voltaire *Cándido* para ilustrar los problemas que veían con los cuentos de «así fue como». Pangloss pensaba que absolutamente todo tenía una razón de ser, desde el terremoto de Lisboa a las gafas y los pantalones: tenemos piernas, así que llevamos pantalones, y tenemos nariz, así que llevamos gafas. Gould y Lewontin calificaron de «paradigma panglossiano» las narrativas adaptacionistas y sugirieron que existen cuatro razones por las que los organismos no alcanzan la perfección mediante la selección natural.

En primer lugar, las formas novedosas de hacer frente al entorno no aparecen *de novo* a resultas del proceso evolutivo, como los nuevos diseños de máquinas y edificios. No son las estructuras existentes las que limitan la imaginación de los inventores y arquitectos sino el propósito, y por eso la solución a un problema arquitectónico o técnico puede venir de cualquier lado y en cualquiera forma o diseño. Lo cierto es que muchos avances técnicos están fundados en adelantos científicos y tecnológicos básicos y que gran parte del diseño arquitectónico funcional está basado en una temática general (protección contra los elementos), pero los saltos que la invención humana puede dar hacia la perfección técnica o arquitectónica superan con mucho lo que la evolución puede hacer por los organismos. La invención humana y la tecnología pueden «salirse de los esquemas» y atacar un problema desde

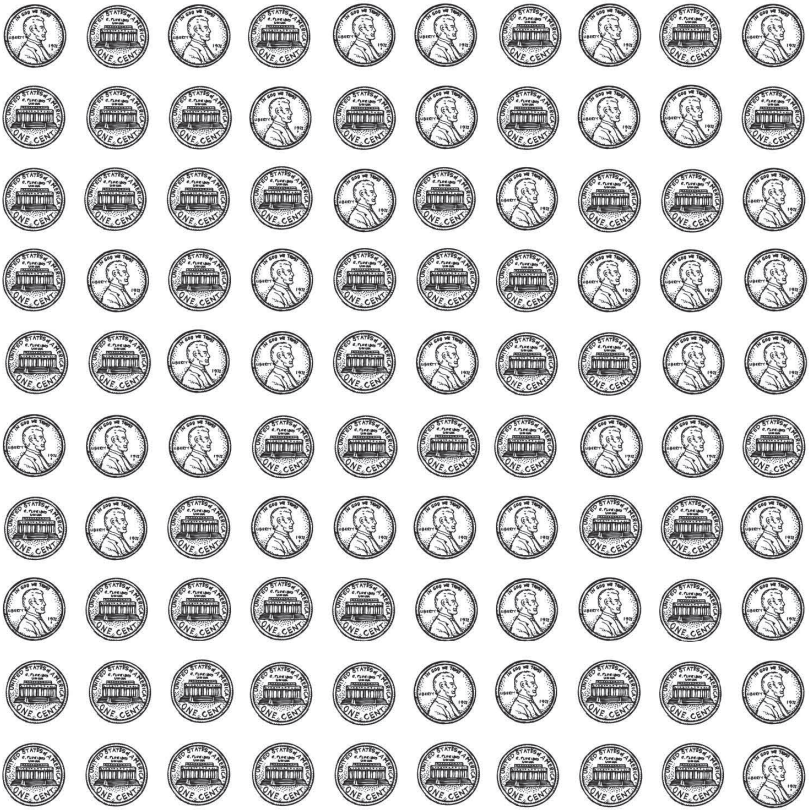
cero sin preocuparse de lo que había antes, pero la evolución está limitada por las cartas que se reparten: por el esquema corporal, la fisiología y la química de los organismos existentes. Debido a la índole de los procesos que la hacen posible, la evolución no puede alejarse de las organizaciones y las condiciones químicas existentes. Lo importante es que estas limitaciones incluyen la forma en que se transmite la información de generación en generación por medio de los genes y los genomas.

En segundo lugar, la evolución no siempre conlleva adaptación. Parte de la evolución es sencillamente pura buena (o mala) suerte. Resulta interesante señalar que, más o menos al mismo tiempo que Gould y Lewontin escribían su famoso artículo, se explicaba la importancia de los procesos evolutivos «neutrales» o no seleccionados tanto desde un punto de vista teórico como empírico. El propio Lewontin desempeñó uno de los principales papeles en esta escena, sobre todo después de que él y su colega Jack Hubby estudiaran los productos génicos en una gran cantidad de humildes moscas de la fruta. Su objetivo era determinar el nivel de variación genética en la naturaleza, y tenían la esperanza de encontrar una cantidad concreta porque las versiones de la teoría de la selección natural que dominaban sugerían que las variantes con menos «aptitudes» que las demás serían eliminadas de las poblaciones. Pero cuando hicieron el experimento en la década de 1960 descubrieron en sus moscas una gran variación genética que carecía de sentido en el contexto de la selección natural dominante. Por consiguiente propusieron, junto con otros científicos, que el azar, o la «deriva», está muy presente en el mundo natural. La selección natural no era el único matón del barrio.

Una vez señalado esto, muchos científicos empezaron a darse cuenta de que los sucesos fortuitos explicaban muchas de las cosas que vemos en la naturaleza. Y si todas esas anatomías, conductas y condiciones químicas estaban ahí por azar, entonces a duras penas la perfección podría ser el objetivo –o siquiera el resultado– de la evolución. Esta forma de evolucionar inducida por el azar pudiera parecer extraña, pero realmente es una parte importante de cómo funciona el proceso. Y se produce sobre todo en poblaciones pequeñas, porque los sucesos fortuitos acontecen más a menudo cuando las muestras son pequeñas. El sosias de la selección natural, si se quiere, es el proceso denominado deriva genética. La deriva se produce en poblaciones pequeñas debido a un fenómeno llamado error de muestreo. Puede considerarse de la

siguiente manera. Coge 400 monedas y lánzalas al aire. Aunque es posible que salgan 400 caras en una tirada, estarías loco si apostaras por ello (la probabilidad de obtener 400 caras en una tirada es ½ elevado a 400). La realidad es que en una tirada de 400 monedas verías muchas caras y muchas cruces (un promedio de 200 de cada). Pero ahora coge cuatro monedas. Una buena apuesta sería que pudieran salir cuatro caras y no ver ninguna cruz (la probabilidad de obtener cuatro caras de una vez es ½ elevado a la cuarta potencia, es decir, acertarías una de cada 16 veces que lo intentaras). Este principio del error de muestreo también funciona en el caso de organismos de poblaciones naturales. Y funciona sea cual sea el tipo de organismo de que se trate. Lo que significa la deriva con respecto a nuestro cerebro y su adaptación, es que mucho de lo que observamos está ahí simplemente por casualidad. Lo que vemos es el resultado de sucesos aleatorios, añadidos a otros, con un toque de selección natural. No es una forma muy eficaz de crear un cerebro, ni en realidad producto alguno. Pero lo fundamental es que funciona.

Una tercera razón por la cual la selección natural no da lugar a organismos perfectos es que, mientras que algunas estructuras se consideran respuestas bastante buenas, si no perfectas, a los desafíos medioambientales, puede que tengan un coste. Su posesión podría verse penalizada por efectos adversos en otros caracteres. Tomemos, por ejemplo, el extraño caso de una pequeña mosca hawaiana, la *Drosophila heteroneura*. El nombre específico de esta mosca supone que algo le ocurre a su cabeza; en efecto, la cabeza de los machos de esta especie tiene forma de cabeza de martillo, en la que los ojos están en los extremos gruesos. ¿Por qué? Bueno, resulta que los machos que tienen cabezas muy anchas se reproducen mucho mejor. Pero, ¿por qué? Por dos razones. La primera es que, al parecer, las hembras prefieren a los machos con cabezas muy, muy anchas. Dicho de otro modo, las hembras encuentran que los machos con grandes cabezas martillo son más «sexis» que los demás. La segunda razón es que los machos con cabezas martillo más grandes pueden pelear mejor por las hembras, lo que da al macho un doble revés sexual. Pero las cosas no son tan sencillas. Probablemente, los machos con las cabezas más anchas están en desventaja, ya que su visión es defectuosa debido a la mayor separación de sus ojos. Semejante disposición anatómica podría crear un sistema visual con grandes «puntos ciegos» que hace que, probablemente, los machos con cabezas más anchas no vean venir a los depredadores y



LANZAMIENTO DE 100 PENIQUES
57 CARAS 43 CRUCES



LANZAMIENTO DE 4 PENIQUES
TODO CRUCES

Si se lanzan al aire 100 monedas, el resultado más probable se acercará a 50 caras y 50 cruces, como se muestra en la parte superior de la ilustración. La probabilidad de que al lanzar esa cantidad de monedas se obtenga todo caras o todo cruces es de 1 entre 1.125.900.000.000.000. Si lanzamos una cantidad de monedas más pequeña (cuatro monedas), la probabilidad de obtener todo cruces o todo caras es bastante alta (1 de cada 16 tiradas).

que, por lo tanto, no puedan escapar a ellos. Si te devoran, no importa lo sexi que seas.

La última razón por la que la selección natural no crea organismos perfectos es que, como hemos señalado, aprovecha las variaciones que ya existen. Los genomas de los organismos no pueden «invocar» nuevas variantes que pudieran resultar buenas respuestas a los desafíos medioambientales. Por muy bien que algunos organismos y virus se puedan adaptar a los retos, esta adaptación no es el resultado de la creación consciente y el uso de una nueva variación. Por ejemplo, aunque el VIH tiene uno de los índices de respuesta más rápidos al reto de los antivirales de todos los virus, ello no es porque el propio virus pueda sentir el tipo de cambios que necesita hacer en su genoma, sino que muta muy deprisa porque su componente básico es el ARN, el cual se amolda con facilidad a las mutaciones a medida que se replica. La mutación rápida genera una variabilidad genética aleatoria sobre la que después actúa la selección natural. Muchas bacterias también se adaptan muy rápida y eficazmente a desafíos medioambientales como los antibióticos. De nuevo, esto no se debe a que las bacterias «sienten» la necesidad de un cambio que las ayude a crear resistencia a los fármacos, sino a que los plásmidos que puedan ser portadores de dicha resistencia están más extendidos en el mundo de las bacterias.

En resumen, las innovaciones aparecen por cambios espontáneos en el material genético que no tienen relación alguna con las dificultades y tribulaciones ecológicas que pueda padecer una especie concreta en un momento determinado. Y aunque no cabe duda de que la selección natural trabaja sin descanso en el seno de las poblaciones, no por ello las empuja en una dirección adaptativa específica. En cambio, puede servir lo mismo para mantener su equilibrio funcional sin relativos cambios reduciendo las variaciones más descabelladas. Además, la selección natural no puede impulsar la aparición de innovaciones por muy ventajosas que sean en teoría. Las innovaciones genéticas surgen al azar; y en caso de no ser muy desfavorables pueden sobrevivir sólo porque no interfieren o porque, en ocasiones, están vinculadas genéticamente a algo más que es beneficioso. En realidad, muchas veces los nuevos rasgos merodean en las poblaciones durante mucho tiempo antes de que, de vez en cuando, les den un nuevo papel, como en el caso de las plumas que tuvieron los antepasados de las aves durante millones de años antes de que las utilizaran para volar.

Los avances en biología molecular han puesto de manifiesto que los cambios genéticos aleatorios sin importancia pueden tener grandes consecuencias en la apariencia física de sus dueños. Y sobre todo es este fenómeno el que puede explicar las muchas discrepancias entre fósiles que por lo general reconocemos como «brechas» en el registro fósil. Por último, cabe señalar que la actividad observada de la selección natural está intrínsecamente limitada a las características que tienen consecuencias importantes para la supervivencia o la reproducción. Muchos filamentos de ADN realizan múltiples funciones, y grandes cantidades de lo que percibimos como rasgos físicos independientes tienen, en realidad, una estrecha vinculación genética. Así, aunque es inevitable que tengamos la tentación de pensar en la selección natural en términos de características físicas cuyas historias podemos rastrear en el registro fósil, la selección sólo puede, de hecho, favorecer o perjudicar la supervivencia y el éxito reproductivo de los individuos. En la mayoría de los casos, lo que determinará nuestro éxito será cómo nos comportemos en tanto que conjunto integrado, y no algunos rasgos clave que pudiéramos tener.

A mayor escala, no cabe duda de que los grandes patrones históricos que vemos en el registro fósil no pueden deberse sólo a los cambios dentro de las poblaciones. Esos cambios, aleatorios o no, aportan sin duda las materias primas en las que se basan las historias evolutivas, pero la magnitud del drama evolutivo lo proporciona la diferencia de supervivencia de las especies en su conjunto, en función de si dan lugar o no a especies descendientes o de si esas especies han prosperado. El éxito o el fracaso en el ámbito ecológico dependerá muchas veces de factores que son totalmente externos a los agentes afectados. Si seremos o no capaces de lidiar con el cambio de hábitat no sólo depende de nosotros mismos sino de la magnitud y la naturaleza del cambio, así como de quién ande por ahí cazándonos o compitiendo con nosotros por los recursos. Factores como este están totalmente fuera de nuestro control y no tienen en cuenta lo magníficamente bien que nos hayamos adaptado a las circunstancias anteriores. Si se produce el impacto de un asteroide en nuestras inmediaciones, sencillamente se nos acabó la suerte: si la fortuna nos sonríe, puede que sólo necesitemos ser lo bastante buenos para salir del paso.