

Richard
Dawkins

El relojero ciego

Por qué la evolución de la vida
no necesita de ningún creador



Richard Dawkins
EL RELOJERO CIEGO

Traducción de Manuel Arroyo Fernández

TUSQUETS
EDITORES

Título original: *The Blind Watchmaker*

1.^a edición: mayo de 2015

© 1996, 1987, 1986 by Richard Dawkins

© de la traducción: Manuel Arroyo Fernández, 2015

Reservados todos los derechos de esta edición para

Tusquets Editores, S.A. - Avda. Diagonal, 662-664 - 08034 Barcelona

www.tusquetseditores.com

ISBN: 978-84-9066-108-6

Depósito legal: B. 7.726-2015

Fotocomposición: David Pablo

Impreso por Limpergraf, S.L.

Impreso en España

Queda rigurosamente prohibida cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación total o parcial de esta obra sin el permiso escrito de los titulares de los derechos de explotación.

Prefacio	11
1. Explicar lo muy improbable	17
2. Un buen diseño	37
3. Acumular pequeños cambios	61
4. Trazar sendas a través del espacio animal	95
5. El poder y los archivos	131
6. Orígenes y milagros	161
7. La evolución constructiva	191
8. Explosiones y espirales	219
9. Desbaratar las interrupciones	247
10. El verdadero árbol de la vida	279
11. Rivales condenados	311
Apéndice	
Bibliografía	347

1

Explicar lo muy improbable

Nosotros, los animales, somos las cosas más complejas del universo conocido. Nuestro universo, por supuesto, es un pequeño fragmento del universo real. Puede haber objetos más complejos que nosotros en otros planetas y es posible que algunos sepan ya de nuestra existencia. Pero esto no altera la idea que quiero exponer. Las cosas complejas merecen siempre una explicación muy especial. Queremos saber cómo empezaron a existir y por qué son tan complejas. Es probable que la explicación, como se verá más adelante, sea la misma en términos generales para todas las cosas complejas de cualquier parte del universo; la misma para nosotros, que para los chimpancés, los gusanos, los robles y los monstruos del espacio exterior. Por contraposición, no será así para lo que llamaré cosas «simples», como rocas, nubes, ríos, galaxias y estrellas. Éstas son materia de la física. Los chimpancés, los perros, los murciélagos, las cucarachas, la gente, los gusanos, las flores, las bacterias y los seres de otras galaxias lo son de la biología.

La diferencia radica en la complejidad del diseño. La biología es el estudio de las cosas complejas que dan la impresión de haber sido diseñadas con un fin. La física es el estudio de las cosas simples que no nos incitan a invocar un diseño deliberado. A primera vista, objetos hechos por el hombre, como los ordenadores y los coches, parecen excepciones. Son complejos y están, obviamente, diseñados con una finalidad, sin embargo carecen de vida y están hechos de metal y plástico en lugar de carne y hueso. En este libro los trataré como objetos biológicos.

La reacción del lector a este planteamiento puede consistir en preguntar: «Sí, pero ¿son realmente objetos biológicos?». Las palabras están a nuestro servicio, no al revés. Por diferentes razones, nos resulta conveniente utilizar palabras con distinto sentido. La mayoría de los libros de cocina clasifican la langosta como un pez. Los zoólogos se quedarían pasmados al leerlo, y señalarían que las langostas podrían llamar peces a los humanos con mayor justicia, ya que los peces son una especie más cercana a los humanos que a ellas. Y, hablando de justicia y langostas, he oído que un tribunal tuvo que decidir recientemente sobre si las langostas

eran insectos o «animales» (el tema surgió al discutir si se debería permitir que la gente cociese vivas a las langostas). Desde un punto de vista zoológico, las langostas ciertamente no son insectos. Son animales, pero también lo son los insectos y nosotros. No tiene especial interés ponerse a discutir sobre la forma en que las distintas personas utilizan las palabras (aunque en mi vida no profesional estoy bastante dispuesto a discutir con quienes echan las langostas vivas en el agua hirviendo). Los cocineros y los abogados necesitan usar las palabras con un estilo propio especial, igual que yo en este libro. No importa si los coches y los ordenadores son «realmente» objetos biológicos. La idea es que si encontráramos cualquier cosa con tal grado de complejidad en un planeta, no dudaríamos en concluir que allí existe vida, o que existió en algún momento. Las máquinas son productos directos de los seres vivos, su complejidad y diseño derivan de ellos, y son indicios de la existencia de vida en un planeta. Lo mismo vale para los fósiles, esqueletos y cadáveres.

He mencionado que la física es el estudio de las cosas simples, lo cual, en principio, puede resultar extraño. La física parece un tema complejo porque sus ideas son difíciles de comprender. Nuestros cerebros fueron diseñados para entender la caza y la recolección, el apareamiento y la reproducción: un mundo de objetos de tamaño medio moviéndose en tres dimensiones a una velocidad moderada. Estamos mentalmente mal equipados para comprender lo muy pequeño y lo muy grande; cosas cuya duración se mide en picosegundos o en gigaaños; partículas que no tienen posición; fuerzas y campos que no podemos ver o tocar, que sólo conocemos porque afectan a lo que podemos ver o tocar. Pensamos que la física es compleja porque nos resulta difícil de comprender y porque los libros de física están llenos de complejas fórmulas matemáticas. Pero los objetos que estudian los físicos son sobre todo objetos simples. Son nubes de gases o pequeñas partículas, o conjuntos de materia uniforme como los cristales, con patrones atómicos repetidos casi de manera infinita. No poseen, de acuerdo con los patrones biológicos, partes complejas. Incluso los grandes objetos físicos como las estrellas están formados por un conjunto de elementos bastante limitado, ordenados más o menos al azar. El comportamiento de los objetos físicos, no biológicos, es tan simple que puede usarse el lenguaje matemático existente para describirlo, y por ello los libros de física están llenos de fórmulas.

Los *libros* de física pueden ser complejos, pero al igual que los coches y los ordenadores, son producto de unos objetos biológicos: los cerebros humanos. Los objetos y fenómenos en un libro de física son más simples que una sola célula del cuerpo de su autor. Y el autor está formado por billones de estas células, la mayoría de las cuales son diferentes entre sí,

y se encuentran organizadas con una intrincada arquitectura y dirigidas con precisión, hasta formar una máquina capaz de escribir un libro. Nuestros cerebros no están mejor equipados para manejar complejidades extremas que para manejar tamaños extremos u otros problemas extremos de la física. Nadie ha podido hallar todavía los cálculos matemáticos necesarios para describir la estructura y el comportamiento de un objeto tal como un físico, o incluso una de sus células. Lo único que podemos hacer es tratar de comprender algunos de los principios generales sobre el funcionamiento de los seres vivos y el porqué de su existencia.

Aquí es donde entramos nosotros en escena. Queríamos saber por qué existimos y por qué existen todas las demás cosas complejas. Hoy podemos contestar a estas preguntas en términos generales, aun sin ser capaces de comprender los detalles de la propia complejidad. Por poner un ejemplo, la mayoría de nosotros no entendemos cómo funciona un avión. Probablemente, sus constructores tampoco lo entienden en su totalidad: los expertos en motores no comprenden del todo la problemática de las alas, y los expertos en alas conocen los motores sólo de forma vaga. Los expertos en alas tampoco entienden de lo suyo con una precisión matemática absoluta: pueden predecir cómo se comportarán unas alas en condiciones de turbulencia, analizándolas en un túnel de aire o mediante una simulación en un ordenador; más o menos lo que podría hacer un biólogo para entender la mecánica de un animal. Pero, a pesar de lo incompleto de nuestra comprensión sobre cómo funciona un avión, todos sabemos cómo se originó. Fue diseñado por unas personas en una mesa de dibujo. Después, otras personas fabricaron las piezas a partir de tales dibujos, y luego muchas más personas (con ayuda de máquinas diseñadas también por personas), atornillaron, remacharon, soldaron y encolaron las piezas, colocando cada una en su sitio correcto. El proceso por el cual se originó un avión no es fundamentalmente misterioso para nosotros, porque lo construyeron seres humanos. Colocar piezas de forma sistemática para ejecutar un diseño con una finalidad es algo que conocemos y comprendemos bien, porque lo hemos experimentado de manera directa, aunque sólo haya sido con nuestros juegos infantiles de construcciones.

¿Qué pasa con nuestros cuerpos? Cada uno de nosotros es una máquina, como un avión, sólo que mucho más compleja. ¿Fuimos también diseñados en una mesa de dibujo, y nuestras piezas fueron ensambladas por un hábil ingeniero? La respuesta es no. Es una respuesta sorprendente, y la conocemos y comprendemos sólo desde hace alrededor de un siglo. Cuando Charles Darwin explicó este concepto por primera vez, mucha gente no quiso, o no pudo, entenderle. Yo mismo rehusé decididamente creer la teoría de Darwin cuando la oí por vez primera, de niño. A lo

largo de la historia, hasta la segunda mitad del siglo xix, casi todo el mundo creía con firmeza en lo contrario: la teoría del Diseñador Consciente. Mucha gente todavía cree en una creación divina, quizá porque la verdad, la explicación darwiniana de nuestra propia existencia, no forma parte aún (lo que resulta curioso) de los programas de educación. Y por ese motivo aún hay gente que no la entiende.

El relojero que da título a este libro lo he tomado prestado de un famoso tratado escrito por William Paley, teólogo del siglo xviii. Su *Natural Theology — or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity Collected from the Appearance of Nature* (*Teología Natural, o pruebas de la existencia y atributos de la divinidad recogidas a partir de los aspectos de la naturaleza*), publicada en 1802, es la exposición más conocida del «argumento del diseño», el argumento que más ha influido para demostrar la existencia de Dios. Es un libro que admiro en gran medida, porque en su tiempo su autor obtuvo éxito haciendo lo que yo trato de hacer ahora. Él tenía una idea que expresar, creía firmemente en ella y no ahorró esfuerzos para expresarla con claridad. Sentía un respeto peculiar por la complejidad del mundo de los seres vivos, y observó que requería un tipo de explicación muy especial. En la única cosa en que se equivocó —y hay que admitir que no es un aspecto menor— fue en la explicación misma. Dio la tradicional respuesta religiosa al enigma, pero la articuló de manera más clara y convincente que cualquier otro antes que él. La verdadera explicación, sin embargo, era totalmente distinta, y tuvo que esperar la llegada de uno de los pensadores más revolucionarios de todos los tiempos: Charles Darwin.

Paley comienza su *Teología Natural* con un famoso pasaje:

Supongamos que, al cruzar un páramo, mi pie tropieza con una *pedra*, y se me pregunta cómo ha llegado esa piedra hasta allí; probablemente, podría contestar que, por lo que yo sabía, había estado allí desde siempre: quizá tampoco hubiera sido fácil demostrar lo absurdo de esa respuesta. Pero supongamos que hubiese encontrado un *reloj* en el suelo, y se me preguntase qué había sucedido para que el reloj estuviese en aquel sitio; no podría dar la misma respuesta que antes, de que, por lo que yo sabía, el reloj podía haber estado allí desde siempre.

Paley aprecia aquí la diferencia entre los objetos físicos naturales, como las piedras, y los objetos diseñados y fabricados, como los relojes. Continúa exponiendo la precisión de los engranajes y muelles de un reloj, y la complejidad con que están montados. Si encontráramos en un páramo un objeto similar a un reloj, aunque desconociéramos cómo

se originó, su precisión y la complejidad de su diseño nos forzarían a concluir

que el reloj debió de tener un fabricante: que debió de existir en algún momento, y en algún lugar, un artífice o artífices, que lo construyeran con una finalidad cuya respuesta encontramos en la actualidad; que concibió su construcción, y diseñó su utilización.

Nadie podría disentir razonablemente de esta conclusión, insiste Paley, aunque eso es justo lo que en realidad hace el ateo, cuando contempla las obras de la naturaleza, ya que

cada indicación de inventiva, cada manifestación de un diseño inteligente que existe en el reloj, existe en las obras de la naturaleza; con la diferencia, por parte de éstas, de ser tan excelsas o más, y en un grado que supera todo cálculo.

Paley ilustra sus tesis con descripciones bellas y reverentes del mecanismo de la vida, que disecciona, comenzando con el ojo humano, uno de los ejemplos favoritos que Darwin usaría luego y que volverá a aparecer a lo largo de este libro. Paley compara el ojo con un instrumento diseñado como el telescopio, para concluir que «existen exactamente las mismas pruebas de que el ojo fue hecho para la visión, como de que el telescopio fue hecho para ayudarle en su función». Por tanto, el ojo debe haber tenido un diseñador, de la misma forma que lo tuvo el telescopio.

El argumento de Paley está formulado con una sinceridad apasionada e ilustrado con los conocimientos biológicos más avanzados de su tiempo, pero es erróneo, clamoroso y rotundamente erróneo. La analogía entre el telescopio y el ojo, entre un reloj y un organismo vivo, es falsa. Aunque parezca lo contrario, el único relojero que existe en la naturaleza son las fuerzas ciegas de la física, aunque desplegadas de manera especial. Un verdadero relojero tiene una previsión: diseña sus engranajes y muelles, y planifica las conexiones entre sí, con una finalidad en mente. La selección natural, el proceso automático, ciego e inconsciente que descubrió Darwin, y que ahora sabemos que es la explicación de la existencia y forma de cualquier tipo de vida con un propósito aparente, no tiene ninguna finalidad en mente. Carece de mente e imaginación. No planifica el futuro. No tiene ninguna visión, ni previsión, ni vista. Si puede decirse que cumple una función de relojero en la naturaleza, ésta es la de relojero *ciego*.

Explicaré todo esto y muchas cosas más. Pero lo que no haré será restar importancia a la maravilla de los «relojes» vivos, que tanto inspiraron a Paley. Por el contrario, trataré de ilustrar mi convicción de que aquí Paley podía haber llegado aun más lejos. Cuando se trata de sentir reverencia ante los «relojes» vivos, no me quedo atrás. Noto que tengo más cosas en común con el reverendo William Paley que con un distinguido filósofo moderno, un ateo muy conocido, con quien discutí una vez este tema durante una cena. A mi afirmación de que no podía imaginarme ser ateo antes de 1859, cuando se publicó el *Origen de las especies* de Darwin, el filósofo replicó: «¿Y qué pasa con Hume?». «¿Cómo explicó Hume la compleja organización del mundo viviente?», pregunté. «No lo hizo», contestó el filósofo. «¿Por qué habría necesitado una explicación especial?»

Paley sabía que era necesaria una explicación especial, como Darwin, y sospecho que en el fondo de su corazón, mi compañero, el filósofo, también lo sabía. En cualquier caso, mi trabajo consistirá en demostrarlo aquí. Respecto a David Hume, se ha dicho a veces que el gran filósofo escocés disponía del argumento del diseño un siglo antes que Darwin. Pero lo que Hume hizo fue criticar la lógica de usar el aparente diseño de la naturaleza como prueba *positiva* de la existencia de un Dios. No ofreció ninguna explicación *alternativa* a este aparente diseño, pero dejó planteada la cuestión. Un ateo anterior a Darwin podría haber dicho, siguiendo a Hume: «No tengo una explicación del complejo diseño biológico. Todo lo que sé es que Dios no es una buena explicación, de manera que debemos esperar y rogar que alguien ofrezca otra mejor». No puedo menos que intuir que esta postura, aunque lógicamente sensata, debía de dejar una sensación de profunda insatisfacción, y que aunque el ateísmo pudiera sostenerse de forma *lógica* antes de Darwin, éste hizo posible el ser un ateo con plena satisfacción intelectual. Me gustaría pensar que Hume estaría de acuerdo, pero algunos de sus escritos sugieren que subestimaba la complejidad y belleza del diseño biológico. El joven naturalista Charles Darwin podría haberle enseñado una o dos cosas al respecto, pero Hume llevaba muerto cuarenta años cuando Darwin se matriculó en su Universidad de Edimburgo.

He hablado de complejidad y de diseño aparente muy a la ligera, como si el significado de estas palabras fuese obvio. En cierto sentido lo es: la mayoría de la gente tiene una idea intuitiva de lo que significa la complejidad. Pero estas nociones, complejidad y diseño, son tan importantes en este libro que debo tratar de definir con mayor precisión, en palabras, nuestra convicción de que hay algo especial en las cosas complejas, aparentemente diseñadas.

¿Qué es una cosa compleja? ¿Cómo la reconocemos? ¿En qué sentido es cierto que un reloj o un avión o un ciempiés o una persona son complejos, y la Luna, sin embargo, es simple? Lo primero que se nos podría ocurrir, como atributo necesario para que una cosa sea compleja, es que posea una estructura heterogénea. Una tarta o un requesón son simples en el sentido de que, si los cortamos en dos, ambas porciones tienen la misma constitución interna: el requesón o la tarta son homogéneos. Un coche es heterogéneo: a diferencia del requesón, casi todas las partes del coche son diferentes entre sí. Dos mitades de un coche no forman otro coche. Eso nos lleva con frecuencia a decir que un objeto complejo, en contraposición a uno simple, tiene muchas partes y éstas son de varios tipos.

Esta heterogeneidad, o «composición de muchas partes», puede ser una condición necesaria, pero no suficiente. Muchos objetos poseen muchas partes y son heterogéneos en cuanto a su estructura interna, sin ser complejos en el sentido en el que quiero utilizar el término. El Mont Blanc, por ejemplo, está compuesto de muchos tipos de rocas, mezcladas de tal forma que si cortamos la montaña por cualquier parte, las partes diferirán entre sí en su constitución interna. El Mont Blanc tiene una heterogeneidad estructural que no posee el requesón, pero aun así no es complejo en el sentido en que un biólogo utiliza el término.

Probemos a seguir otro camino en nuestra búsqueda de una definición de complejidad, haciendo uso de la idea matemática de probabilidad. Supongamos que ensayamos la siguiente definición: una cosa compleja es algo cuyas partes constituyentes están ordenadas de forma que es improbable que se haya originado sólo por azar. Recordando un ejemplo de un conocido astrónomo, si cogemos las piezas de un avión y las mezclamos al azar, la probabilidad de que tal combinación produzca un Boeing que funcione es sumamente pequeña. Existen miles de millones de modos posibles de montar las piezas de un avión, y de estos sólo uno, o unos pocos, darían como resultado en realidad un avión. ¡Pues todavía hay más formas de combinar las partes de un ser humano!

Este enfoque para dar con una definición de complejidad resulta prometedor, pero se necesita algo más. Hay miles de millones de modos de mezclar los fragmentos del Mont Blanc, y podría decirse que sólo uno de ellos es el Mont Blanc. Así pues, ¿qué hace que un avión y un ser humano sean complejos y el Mont Blanc simple? Una acumulación cualquiera de piezas antiguas mezcladas es única y, contemplándola *en retrospectiva*, tan improbable como cualquier otra. Los montones de piezas de un desguace de aviones son únicos. No hay dos montones idénticos. Si se dejan caer piezas de aviones en montones, la probabilidad de que

se produzca exactamente la misma ordenación de la chatarra dos veces es casi tan baja como la probabilidad de que se monte un avión que vuele. Entonces, ¿por qué no podemos decir que un vertedero de basura, o el Mont Blanc, o la luna son tan complejos como un avión o un perro, dado que en todos estos casos la disposición de los átomos es también «improbable»?

El candado de mi bicicleta funciona mediante combinaciones y tiene 4096 posiciones diferentes. Cada una de ellas es igualmente «improbable» en el sentido de que si se gira al azar, cada una de las 4096 posiciones tiene la misma probabilidad de aparecer. Puedo girar las ruedecillas al azar, ver el número que aparece y exclamar en retrospectiva: «¡Qué divertido! La probabilidad de que apareciera este número era de 1:4096. ¡Un pequeño milagro!». Eso equivale a contemplar la ordenación particular de las rocas en una montaña, o de los fragmentos de metal en una pila de chatarra, como «complejos». Pero realmente sólo una de esas 4096 posiciones tiene un interés particular: la combinación 1207 es la única que abre el candado. La rareza del número 1207 nada tiene que ver con la percepción en retrospectiva: estaba especificado de antemano por el fabricante. Si se giran las ruedecillas al azar y se acierta con la combinación 1207 a la primera, podría robarse la bicicleta, lo que parecería un pequeño milagro. Si por suerte diésemos con la combinación de uno de estos cerrojos múltiples de las cajas fuertes de los bancos, entonces parecería un milagro mayor, ya que las probabilidades en contra son de muchos millones a una, y en este caso podría robarse una fortuna.

Ahora bien, acertar el número de la suerte que abre la caja fuerte del banco es equivalente, en nuestra analogía, a amontonar trozos de metal al azar y darse cuenta de haber montado un Boeing 747. De todos los millones de posiciones únicas, y en retrospectiva igualmente improbables, de la combinación del cierre, sólo una abre la cerradura. De la misma manera que, de todos los millones de ordenaciones únicas, y contempladas en retrospectiva igualmente improbables, de un montón de chatarra, sólo una (o muy pocas) podrán volar. La rareza de la disposición que vuela, o que abre la caja, no tiene nada que ver con la percepción retrospectiva. Está especificada de antemano. El fabricante de cerraduras preparó la combinación y se la comunicó al director del banco. La capacidad de volar es una propiedad de cualquier avión que nosotros especificamos de antemano. Si vemos un avión en el aire tenemos la certeza de que no se montó acumulando trozos de metal al azar, porque sabemos que las probabilidades de que un conglomerado aleatorio sea capaz de volar son demasiado pequeñas.

Ahora bien, si consideramos todas las formas posibles en que podrían haberse mezclado las rocas del Mont Blanc, es cierto que sólo una daría lugar al Mont Blanc como lo conocemos. Pero el Mont Blanc como lo conocemos no está definido con antelación. Cualquier manera de mezclar las rocas de entre un gran número sería definida como una montaña, y podría llamarse Mont Blanc. No hay nada especial en el Mont Blanc que conocemos, nada especificado de antemano, nada equivalente a un avión que despegue o a una caja fuerte que se abre y nos permite coger el dinero que guarda.

¿Cuál sería el equivalente a la apertura de una caja fuerte o al vuelo de un avión en el caso de un organismo vivo? Bueno, a veces puede decirse que es casi lo mismo. Las golondrinas vuelan. Como hemos visto, no es fácil construir un artefacto volador. Si se observan las células de una golondrina, y se disponen al azar, la probabilidad de que el objeto resultante vuele no es, para nuestros propósitos, distinta de cero. No todos los seres vivos vuelan, pero hacen otras cosas que son igualmente poco probables y que pueden ser también especificadas de antemano. Las ballenas no vuelan, pero nadan, y con la misma eficiencia con que vuelan las golondrinas. La probabilidad de que un conjunto de células de ballena puestas juntas al azar pudieran nadar con la rapidez y eficiencia de un cetáceo, es insignificante.

En este punto, algún filósofo con ojos de águila (las águilas tienen ojos muy agudos; jamás podrían obtenerse esos ojos mezclando al azar lentes y células sensibles a la luz) podría empezar a murmurar algo sobre la circularidad de la argumentación. Las golondrinas vuelan pero no nadan, y las ballenas nadan pero no vuelan. Es de manera retrospectiva como juzgamos si nuestro conglomerado aleatorio tiene éxito como nadador o como volador. Supongamos que acordamos al juzgar un éxito llamarlo X, y dejar en suspenso lo que es X hasta que hayamos realizado la experiencia de mezclar las células. El conjunto de células reunidas al azar podría resultar ser un eficiente excavador, como un topo, o un eficiente trepador, como un mono. Podría ser muy bueno en practicar *wind-surfing*, en recoger harapos o en caminar en círculos decrecientes hasta desaparecer. La lista podría seguir indefinidamente. ¿O no?

Si la lista *pudiese* seguir indefinidamente, mi hipotético filósofo podría tener un argumento. Si, mezclando la materia de una forma aleatoria, puede decirse a menudo que el conjunto resultante, visto en retrospectiva, sirve para *alguna actividad*, entonces sería justo objetar que he mentado sobre la golondrina y la ballena. Pero los biólogos son capaces de ser mucho más específicos cuando se trata de cómo debe entenderse lo de ser «bueno para alguna actividad». El requerimiento mínimo para

que reconozcamos que un objeto es un animal o una planta es que sea capaz de realizar una actividad viva *de cualquier tipo* (más exactamente, que él o, por lo menos, algunos miembros de su especie, vivan lo suficiente para reproducirse). Es cierto que hay bastantes maneras de expresar la vida: volar, nadar, columpiarse entre los árboles, etcétera. Pero, *a pesar de las numerosas formas que hay de estar vivo, lo cierto es que hay muchísimas más de estar muerto* o, mejor dicho, de estar no vivo. Pueden mezclarse células al azar, una y otra vez durante miles de millones de años, y no se producirá una sola vez un conjunto que vuele, o nade, o excave, o corra o desarrolle *alguna actividad*, aunque sea mal, que pueda interpretarse como una forma de mantenerse vivo.

Ésta ha sido una argumentación bastante larga y extensa, y es el momento de acordarnos de cómo nos embarcamos en ella. Estábamos buscando una forma precisa de expresar qué entendemos cuando decimos que algo es complejo. Estábamos tratando de precisar qué tienen en común los seres humanos, los topos, los gusanos, los aviones y los relojes, entre sí, pero no con el requesón o el Mont Blanc o la Luna. La respuesta a la que hemos llegado es que las cosas complejas tienen alguna cualidad, especificable de antemano, que es muy improbable que haya sido adquirida sólo por azar. En el caso de las cosas vivas, la cualidad que se especifica de antemano es, en cierto sentido, una «habilidad»; bien sea una habilidad en algo concreto, como volar, que produce la admiración de los ingenieros aeronáuticos; bien sea una habilidad para llevar a cabo algo más general, como evitar la muerte, o propagar los propios genes mediante la reproducción.

Evitar la muerte es algo que requiere un trabajo continuo. Abandonado a su suerte —y eso es lo que sucede cuando muere— el cuerpo tiende a volver a un estado de equilibrio con su medio ambiente. Si se mide algún parámetro como la temperatura, la acidez, el contenido de agua o el potencial eléctrico en un cuerpo vivo, se ve que esa medida es marcadamente distinta de la que corresponde al medio ambiente. Nuestros cuerpos, por ejemplo, están más calientes que nuestro medio circundante, y en climas fríos tienen que trabajar duro para mantener esta diferencia. Cuando morimos, esa actividad cesa, la diferencia de temperatura comienza a desaparecer y acabamos teniendo la misma temperatura que nuestro medio circundante. No todos los animales trabajan tanto para evitar que se establezca un equilibrio con la temperatura ambiente, pero todos realizan *algún* esfuerzo equiparable. Por ejemplo, en un ambiente árido, los animales y las plantas tratan de conservar el contenido líquido de sus células, en contra de la tendencia natural del agua a fluir de ellas hacia el ambiente exterior árido. Si no lo consiguen, mueren. En

términos más generales, si los seres vivos no trabajasen activamente para prevenirlo, se fundirían con su medio circundante y dejarían de existir como seres autónomos. Eso es lo que sucede cuando mueren.

Con excepción de las máquinas artificiales, que ya hemos acordado en considerarlas como seres vivos honorarios, los seres no vivos no funcionan de este modo. Aceptan las fuerzas que tienden a situarlos en equilibrio con su medio ambiente. El Mont Blanc, con seguridad, ha existido desde hace largo tiempo y probablemente existirá aún más tiempo pero no se esfuerza por seguir existiendo. Cuando una roca se deposita por influencia de la gravedad, ya no se mueve. No hay que llevar a cabo ningún trabajo para que se mantenga en su sitio. El Mont Blanc existe y continuará existiendo mientras no lo consuma la erosión o lo derribe un terremoto. No toma medidas para reparar el desgaste, o para erguirse cuando lo derriban, como hace un organismo vivo. Simplemente, obedece las leyes ordinarias de la física.

Entonces, ¿esta afirmación equivale a negar que los seres vivos obedezcan las leyes de la física? Claro que no. No hay razón para pensar que las leyes de la física sean violadas en los seres vivos. No existe nada sobrenatural, ninguna «fuerza vital» que rivalice con las fuerzas fundamentales de la física. Es sólo que si tratamos de utilizar las leyes físicas, de forma inocente, para comprender el comportamiento de un organismo vivo *en su globalidad*, veremos que no podremos ir muy lejos. Un cuerpo es una cosa compleja con muchas partes constituyentes, y para entender su comportamiento hay que aplicar las leyes de la física a cada una de sus partes, no al conjunto. El comportamiento del organismo surgirá entonces como un todo, a consecuencia de la interacción entre sus partes.

Consideremos las leyes del movimiento, por ejemplo. Si arrojamus un pájaro muerto al aire describirá una elegante parábola, exactamente como explican los libros de física, y después caerá al suelo, donde permanecerá. Se comporta como debería hacerlo un cuerpo sólido con una masa y una resistencia al aire determinadas. Pero si lanzamos un pájaro vivo al aire, no describirá una parábola ni caerá al suelo, sino que volará lejos y puede que no toque tierra hasta pasar al otro lado de la frontera. La razón es que tiene músculos que trabajan para vencer la gravedad y otras fuerzas que actúan sobre todo el cuerpo. Cada una de sus células musculares obedece a las leyes de la física. El resultado es que los músculos mueven las alas de forma que el pájaro permanece en lo alto. El pájaro no viola las leyes de la gravedad. Es atraído constantemente hacia abajo, pero sus alas realizan un trabajo activo —obedeciendo cada músculo las leyes de la física— para mantenerse en lo alto, a pesar de la gravedad. Pensaríamos que está desafiando una ley física si fuésemos tan ingenuos

como para considerarlo un conjunto de materia sin estructura con una masa y una resistencia al aire determinadas. Sólo cuando recordamos que tiene muchas partes internas, que a su nivel todas obedecen las leyes de la física, comprendemos el comportamiento del cuerpo entero. Esto no es, por supuesto, una peculiaridad de los seres vivos. Se aplica a todas las máquinas creadas por el hombre y, potencialmente, a cualquier objeto complejo formado de muchas partes.

Estas consideraciones me llevan al tema final que quiero discutir en este filosófico capítulo, el problema de lo que entiendo por explicación. Hemos visto ya qué significado quiero dar al concepto de una cosa compleja. Pero ¿esa explicación nos dejaría satisfechos si nos preguntásemos cómo funciona una máquina compleja o un organismo vivo? La respuesta es aquella a la que llegamos en el párrafo anterior. Si deseamos comprender cómo funciona una máquina o un organismo vivo, observaremos sus componentes y preguntaremos cómo actúan entre sí. Si hay alguna cosa compleja que no entendamos aún, podremos tratar de comprenderla tras entender cómo funcionan sus partes componentes más simples.

Si preguntase a un ingeniero cómo funciona una máquina a vapor, tengo una idea clara del tipo de respuesta que me satisfaría. Como a Julián Huxley, no me impresionaría que el ingeniero me dijese que está propulsada por una «fuerza locomotriz». Y si empezara a aburrirme explicándome que el conjunto es mayor que la suma de las partes, lo interrumpiría: «Eso no me importa, dígame sólo cómo *funciona*». Lo que me gustaría saber es cómo actúan entre sí las piezas para producir el funcionamiento de la máquina en su totalidad. Estaría dispuesto, en principio, a aceptar una explicación en términos de subcomponentes bastante grandes, cuya estructura y funcionamiento interno pudieran ser bastante complejos y, quizá, no tener todavía explicación. Las unidades de una explicación inicialmente satisfactoria podrían llevar nombres como fogón, caldera, cilindro, pistón, regulador del vapor. El ingeniero diría, en principio sin dar una explicación, lo que hace cada una de estas unidades. Yo lo aceptaría inicialmente, sin preguntar cómo realiza cada unidad su trabajo en particular. Admitiendo que cada unidad lleva a cabo un trabajo concreto, podría comprender cómo actúan entre sí para que se mueva la máquina a vapor en su conjunto.

Por supuesto, también puedo preguntar cómo trabaja cada una de las piezas. Después de aceptar que el regulador de vapor regula el flujo de vapor, y habiéndolo utilizado para comprender el comportamiento de toda la máquina, puedo centrar mi curiosidad en el propio regulador de vapor. Quiero comprender ahora cómo realiza su trabajo en términos de sus pie-

zas internas. Dentro de los componentes existe una jerarquía de subcomponentes. Nosotros explicamos la conducta de un componente, en un nivel determinado, en términos de interacciones entre subcomponentes cuya propia organización interna se da por supuesta, por el momento. Seguimos nuestro viaje jerárquico descendente, hasta llegar a unidades tan simples que, para nuestros propósitos cotidianos, no sentimos necesidad de seguir preguntando. Erróneamente o no, la mayoría de nosotros nos sentimos satisfechos con nuestros conocimientos sobre las propiedades de las barras rígidas de hierro, por ejemplo, y estamos dispuestos a utilizarlas como unidades de explicación de máquinas más complejas de las que formen parte.

Los físicos, por supuesto, no dan por descontadas las propiedades de las barras de hierro. Se preguntan por qué son rígidas y continúan descendiendo en la jerarquía bastantes escalones más, hasta llegar a las partículas elementales y los quarks. Pero la vida es demasiado corta para que la mayoría de nosotros estemos dispuestos a seguirlos en esta búsqueda de explicaciones. En cualquier nivel determinado de una organización compleja, pueden obtenerse explicaciones por lo general satisfactorias descendiendo uno o dos escalones desde nuestro nivel inicial, pero no más. El comportamiento del motor de un coche se explica en términos de cilindros, carburadores y bujías. Es cierto que cada uno de estos componentes descansa en lo alto de una pirámide de explicaciones a niveles inferiores. Pero si me preguntaran cómo funciona un motor de coche, la gente pensaría que soy algo pedante si contestara en términos de las leyes de Newton o las leyes termodinámicas, y por completo oscurantista si contestara en términos de partículas fundamentales. Sin duda, es cierto que, en el fondo, el funcionamiento del motor de un automóvil se explica en términos de interacciones entre partículas fundamentales. Pero resulta mucho más útil hacerlo en términos de interacciones entre pistones, cilindros y bujías.

El funcionamiento de un ordenador puede explicarse en términos de interacciones entre puertas electrónicas semiconductoras, y el de éstas, a su vez, lo explican los físicos a niveles todavía inferiores. Pero en la práctica, para la mayoría de nuestros propósitos, perderíamos el tiempo si tratásemos de comprender el funcionamiento de todo el ordenador en cualquiera de estos dos planos. Hay demasiadas puertas electrónicas y demasiadas conexiones entre ellas. Una explicación satisfactoria debe darse en términos de un pequeño número de interacciones para que pueda manejarse. Así, si queremos comprender el funcionamiento de los ordenadores, preferiremos una explicación preliminar en términos de una media docena de subcomponentes principales: memoria, procesador, me-

dio de almacenamiento, unidad de control, control de entradas-salidas, etcétera. Tras haber entendido las interacciones entre esta media docena de componentes principales, podemos preguntar sobre la organización interna de los mismos. A pesar de todo, es probable que sólo los ingenieros especializados descendan hasta el nivel de las puertas AND y NOR, y que sólo los físicos descendan más, hasta el nivel de comportamiento de los electrones en un medio semiconductor.

Para quienes gustan de los nombres acabados en «-ismos», el nombre correcto para designar este enfoque, para tratar de comprender cómo funcionan las cosas, probablemente sea el de «reduccionismo jerárquico». Quien suela leer revistas culturales, observará que el «reduccionismo» es una de esas cosas que, como el pecado, sólo la menciona la gente que está en contra de él. Llamarse a sí mismo reduccionista sonaría, en algunos ambientes, a algo así como admitir que uno come niños. Pero de igual manera que hoy nadie come niños, nadie es realmente reduccionista en algún sentido que valga la pena tomar posiciones. El reduccionista imaginario —la persona contra la que está todo el mundo, pero que sólo existe en su imaginación— trata de explicar el funcionamiento de las cosas complejas de una forma *directa*, en términos de sus *últimos componentes*, incluso, en algunas versiones extremas del mito, como la *suma* de estos componentes. Por el contrario, el reduccionista jerárquico trata de explicar el funcionamiento de una cosa compleja a cualquier nivel jerárquico de la organización en términos de componentes situados un nivel por debajo de la jerarquía; puede que estos componentes sean lo bastante complejos como para necesitar una reducción adicional a sus propios elementos constituyentes, etcétera. Continúa sin decirse —aunque el mítico reduccionista zampa-niños tiene reputación de negarlo— que el tipo de explicaciones apropiadas para un nivel jerárquico superior es bastante distinto del tipo apropiado para niveles jerárquicos inferiores. Por eso los coches se explican en términos de carburadores en lugar de en quarks. Pero el reduccionista jerárquico cree que los carburadores pueden explicarse en términos de unidades más pequeñas, que a su vez se explican en términos de unidades más pequeñas, que se explican, finalmente, en términos de las partículas fundamentales. El reduccionismo, en ese sentido, es simplemente un nombre más para un sincero deseo de comprender cómo funcionan las cosas.

Hemos comenzado esta sección del capítulo preguntando qué clase de explicación sobre las cosas complejas nos satisfaría. Hemos considerado la pregunta desde el punto de vista de su mecanismo: ¿cómo funcionan? Llegamos a la conclusión de que el comportamiento de una cosa compleja debería explicarse en términos de interacciones entre sus com-

ponentes, consideradas como peldaños sucesivos de un orden jerárquico. Otra cuestión es, sin embargo, cómo empezaron a existir las cosas complejas, cuestión al que este libro trata de dar respuesta, de forma que no haré aquí muchos más comentarios sobre ella. Sólo mencionaré que se aplica el mismo principio general que en la explicación del mecanismo. Una cosa compleja es aquella cuya existencia no nos sentimos inclinados a dar por supuesta, porque es «muy poco probable». No podría haber llegado a existir mediante una intervención única del azar. Explicaremos cómo se dio su existencia a raíz de un proceso de transformaciones graduales, acumulativas, hechas paso a paso a partir de cosas más simples, desde objetos primitivos lo bastante simples como para haber llegado a existir por puro azar. De la misma manera que un «reduccionismo en una sola etapa» no puede servir como explicación de un mecanismo, y debe ser reemplazado por una serie de explicaciones paso a paso, profundizando en la jerarquía, de igual forma no podemos explicar una cosa compleja como originada en una sola etapa. Debemos, una vez más, recurrir a una serie de pequeños pasos, ordenados secuencialmente en el tiempo.

En su interesante libro *La creación*, el físico y químico de Oxford Peter Atkins empieza así:

Haré viajar a tu mente. Es un viaje de entendimiento que nos llevará al borde del espacio, del tiempo y de la comprensión. En el trayecto, sostendré que no hay nada que no pueda ser comprendido, nada que no pueda ser explicado y que todas las cosas son extraordinariamente simples... Gran parte del universo no necesita explicación. Por ejemplo, los elefantes. Una vez que las moléculas han aprendido a competir y a crear otras moléculas a su propia imagen, los elefantes y las cosas que son como los elefantes, se encontrarán, a su debido tiempo, vagando por la sabana.

Atkins supone que la evolución de las cosas complejas, objeto de este libro, es inevitable una vez fijadas las condiciones físicas apropiadas. Se pregunta cuáles son las condiciones físicas mínimas necesarias, cuál es la mínima cantidad de trabajo de diseño que tendría que llevar a cabo un Creador perezoso, de forma que el universo y, más tarde los elefantes y otras cosas complejas, llegaran a existir un día. La respuesta, desde su punto de vista de físico, es que el Creador podría ser infinitamente perezoso. Las unidades fundamentales originales que necesitamos postular, para comprender cómo han llegado a existir todas las cosas, son literalmente nada (de acuerdo con unos físicos), o (de acuerdo con otros) unidades de una simplicidad extrema, demasiado simples para necesitar algo tan grandioso como una Creación deliberada.

Atkins afirma que los elefantes y las cosas complejas no necesitan explicación. Pero lo dice porque él es un físico, que da por supuesta la teoría biológica de la evolución. No quiere decir, en realidad, que los elefantes no necesiten una explicación; más bien, que le basta con que los biólogos puedan explicar el porqué de los elefantes, siempre que se les permita dar por supuestos ciertos hechos físicos. Su tarea como físico, por tanto, es justificar nuestra decisión de dar estos hechos por supuestos. Y consigue resolver con éxito dicha tarea. Mi postura es complementaria. Yo soy biólogo, y doy por supuestos los hechos físicos, los hechos del mundo de la simplicidad. Si los físicos no están aún de acuerdo sobre si se han comprendido estos hechos simples, no es mi problema. Mi tarea es la de explicar los elefantes, y el mundo de las cosas complejas, en términos de cosas simples que los físicos entienden, o están trabajando en ellas. El problema del físico es el problema de los orígenes últimos, de las leyes naturales últimas. El problema del biólogo es el problema de la complejidad. El biólogo trata de explicar el funcionamiento y el inicio de la existencia de las cosas complejas, en términos de cosas más simples. Puede considerar su tarea finalizada cuando llegue a entidades tan simples como para dejarlas tranquilamente a los físicos.

Me doy cuenta de que la caracterización que he hecho de las cosas complejas —estadísticamente poco probables en una dirección no especificada de antemano— puede parecer en extremo personal. De igual modo que podría parecer también mi caracterización de la física como el estudio de la simplicidad. Si se prefiere alguna otra forma de definir la complejidad, no me importa y estaría de acuerdo en seguir con esa definición durante toda la discusión. Pero lo único que me preocupa es que, con independencia de cómo elijamos denominar la cualidad de «ser estadísticamente poco probable en una dirección no especificada de antemano», sea una cualidad importante que necesite de un esfuerzo especial para explicarla. Ésta es la cualidad que caracteriza los objetos biológicos, en contraposición con los físicos. El tipo de explicación al que debemos llegar no debe contradecir las leyes de la física. Por el contrario, tiene que servirse de las mismas y de nada más. Pero debe servirse de estas leyes de una manera especial, que no suele ser el discurso habitual en los manuales de física. Esta forma especial es la de Darwin. Presentaré los fundamentos esenciales en el capítulo 3, con el título de *selección acumulativa*.

Mientras tanto, quisiera seguir a Paley al señalar la grandeza del problema con que se enfrenta nuestra explicación, la absoluta inmensidad de la complejidad biológica y la belleza y elegancia del diseño biológico. El capítulo 2 es una amplia discusión de un ejemplo peculiar, el «radar»

de los murciélagos, descubierto con posterioridad a la época en que vivió Paley. En este capítulo he incluido una ilustración (figura 1) —¿cómo le hubiera gustado a Paley el microscopio electrónico!— de un ojo con dos ampliaciones sucesivas de un área concreta. En la parte superior de la figura hay una sección del ojo. Este nivel de ampliación muestra el ojo como un instrumento óptico. La semejanza con una cámara fotográfica es obvia. El diafragma del iris es responsable de la constante variación de la apertura, el «stop f ». El cristalino, sólo una parte de un sistema lenticular compuesto, es el responsable del enfoque variable. La distancia focal se cambia comprimiendo el cristalino por acción de los músculos (o en los camaleones, moviendo el cristalino hacia delante o hacia atrás, como en las cámaras diseñadas por el hombre). La imagen se proyecta sobre la retina, en la parte posterior, donde excita las fotocélulas.

La parte media de la figura 1 muestra una pequeña sección de la retina aumentada de tamaño. La luz procede de la izquierda. Las células sensibles a la luz («fotocélulas») no son lo primero con que se topa la luz, sino que están sepultadas en el interior, enfocadas en sentido contrario a la luz. Esta rara característica se mencionará de nuevo más adelante. Lo primero que encuentra la luz es, de hecho, la capa de células ganglionares que constituye la «interfase electrónica» entre las fotocélulas y el cerebro. En realidad, las células ganglionares tienen la responsabilidad de pre-procesar la información con medios sofisticados, antes de transmitírsela al cerebro y, de alguna manera, la palabra «interfase» no hace justicia a esto. «Procesador periférico» podría ser una denominación más adecuada. Las conexiones de las células ganglionares discurren a lo largo de la superficie de la retina hasta la «mancha ciega», donde se sumergen a través de la retina para formar el tronco del cable principal hacia el cerebro, el nervio óptico. Hay alrededor de tres millones de células ganglionares en la «interfase electrónica», que recogen datos de unos 125 millones de fotocélulas.

En la parte inferior de la figura se ve una fotocélula aumentada de tamaño, un bastón. Según se contempla su fina arquitectura, hay que recordar que toda esa complejidad se repite 125 millones de veces en cada retina. Y que una complejidad similar se repite billones de veces en cualquier parte de la unidad corporal. La cifra de 125 millones de fotocélulas es unas cinco mil veces el número de puntos de resolución que se perciben en una fotografía de una revista de buena calidad. Las membranas plegadas situadas en la parte derecha de la fotocélula ilustrada son las estructuras que recogen la luz. Su estructura en capas aumenta la eficacia de la célula para capturar fotones, las partículas fundamentales que forman la luz. Si un fotón no es capturado por la primera

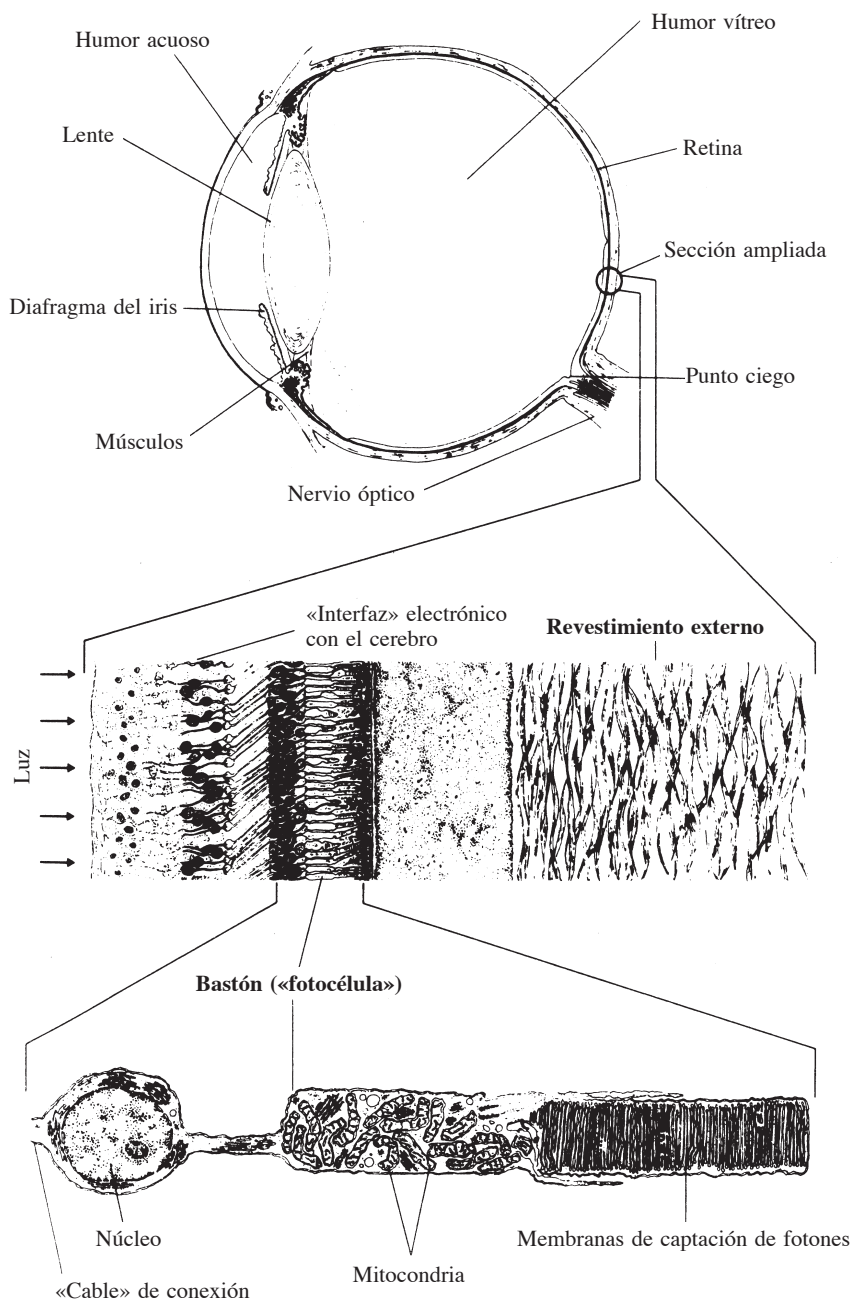


Figura 1

membrana, puede serlo por la segunda, etcétera. El resultado es que algunos ojos son capaces de detectar un solo fotón. Las emulsiones fotográficas más rápidas y sensibles utilizadas por los fotógrafos necesitan unas veinticinco veces más fotones para detectar un punto de luz. Los objetos de forma elongada situados en la parte media de la célula son, en su mayoría, mitocondrias. Las mitocondrias no sólo se encuentran en las fotocélulas, sino también en la mayoría de las otras células. Cada una puede imaginarse como una factoría química que, en el proceso de distribuir su producto primario, la energía utilizable, procesa más de setecientas sustancias químicas diferentes, en largas y entrecruzadas cadenas de montaje extendidas a lo largo de la intrincada superficie de sus membranas internas plegadas. El glóbulo redondo situado en la parte inferior izquierda de la figura 1 es el núcleo. Es un órgano característico de todas las células animales y vegetales. Cada núcleo, como veremos en el capítulo 5, contiene una base de datos codificada digitalmente mayor, en contenido de información, que los treinta volúmenes de la *Enciclopedia Británica* juntos. Y esta cifra es para *cada* célula, no para todas las células del cuerpo juntas.

El bastón situado en la parte inferior de la figura es una sola célula. El número total de células en el cuerpo (de un ser humano) es de unos 10 billones. Cuando uno come un trozo de carne, se está destruyendo el equivalente a más de 100.000 millones de copias de la *Enciclopedia Británica*.