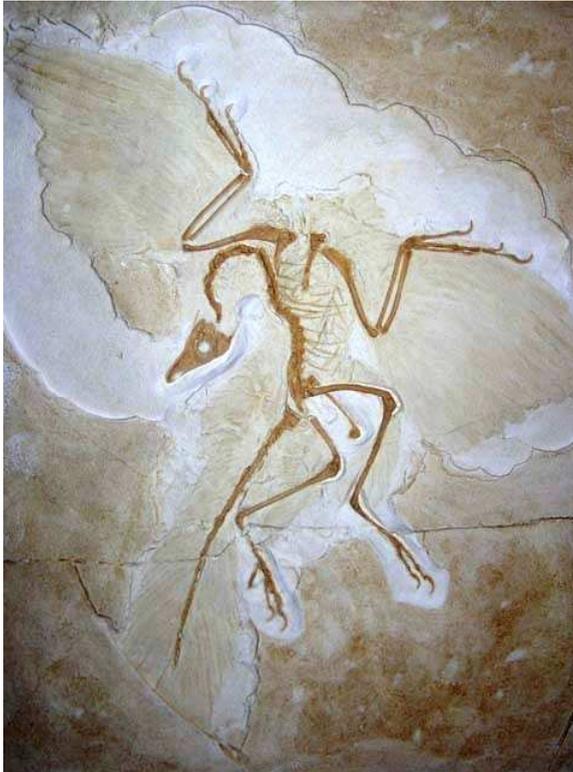


“EL RELOJERO CIEGO”

RICHARD DAWKINS



4

Trazar sendas a través del espacio animal

Como vimos en el capítulo 2, mucha gente encuentra difícil de creer que algo tan complejo y bien diseñado como un ojo, el ejemplo favorito de Paley, con tantas piezas funcionales engranadas entre sí, puede haberse originado a partir de unos comienzos insignificantes, mediante una serie de cambios graduales. Analicemos otra vez el problema, a la luz de esta nueva intuición que nos han proporcionado las bioformas. Contestemos estas dos preguntas:

1. ¿Pudo el ojo humano haberse originado directamente a partir de la nada, en una sola etapa?
2. ¿Pudo el ojo humano haberse originado directamente a partir de algo ligeramente diferente, algo que podríamos llamar X?

La respuesta a la pregunta 1 es un *no* rotundo. Las probabilidades en contra de un «sí» como respuesta a ese tipo de preguntas son muchos miles de millones de veces mayores que el número de átomos del universo. Se necesitaría un salto gigantesco y tremendamente improbable a través del hiperespacio genético. La respuesta a la pregunta 2 es un *sí* igualmente claro, siempre que la diferencia entre el ojo moderno y su inmediato predecesor X sea lo suficientemente pequeña. En otras palabras, siempre que estén suficientemente cerca entre sí en el espacio que abarca todas las estructuras posibles. Si la respuesta a la pregunta 2 es un *no*, para una diferencia determinada, todo lo que tenemos que hacer es repetir la pregunta, utilizando una diferencia menor. Debemos continuar haciéndolo hasta que encontremos una diferencia lo suficientemente pequeña como para darnos un «sí» como respuesta.

X se *define* como algo muy similar a un ojo humano, lo suficientemente similar al ojo humano como para que éste se hubiera podido originar en apariencia por una sola alteración de X. Si se tiene una imagen mental de X, y se encuentra poco creíble que el ojo humano pudiera haberse originado directamente de él, significa que se ha escogido un X erróneo. Hay que hacer que la imagen mental de X sea progresivamente más similar a la de un ojo humano, hasta encontrar un X que *parezca* un precursor inmediato posible del mismo. Tiene que haber uno para cada persona, aunque su idea de lo que es posible pueda ser más o menos prudente que la mía.

Ahora, después de haber encontrado un X tal que la respuesta a la pregunta 2 sea sí, apliquemos la misma cuestión al propio X. Por el mismo razonamiento, debemos llegar a la conclusión de que X pudo haberse originado en apariencia, directamente mediante un solo cambio, a partir de algo apenas diferente, que podemos llamar X'. Obviamente, podemos seguir entonces la pista a X' hasta encontrar algo ligeramente diferente, X'', y así sucesivamente. Interponiendo una serie lo suficientemente grande de X, podemos hacer que el ojo humano se derive de algo no sólo un poco, sino muy distinto de él mismo. Podremos «caminar» una gran distancia a través del «espacio animal», y nuestros movimientos serán

creíbles siempre que demos pasos lo suficientemente pequeños. Estamos ahora en posición de contestar una tercera pregunta.

3. ¿Existe una serie continua de X que conecten el ojo humano actual con un estadio en el que todavía no existía el ojo?

Me parece claro que la respuesta tiene que ser sí, siempre que nos permitamos una serie *suficientemente grande* de X. Podría pensarse que 1000 X es una serie grande, pero si se necesitan más etapas para hacer una transición completa que sea creíble, simplemente habría que asumir la existencia de 10 000 X. Y si 10 000 no son suficientes, habría que pensar en 100 000, y así sucesivamente. El tiempo disponible impone, sin embargo, un límite a este juego, ya que sólo puede haber un X por generación. En la práctica, la cuestión se resuelve por sí misma: ¿ha pasado suficiente tiempo como para que hayan existido suficientes generaciones sucesivas? No podemos dar una respuesta precisa al número de generaciones que serían necesarias. Lo que sí sabemos es que el tiempo geológico es tremendamente largo. Para dar una idea del orden de magnitud de lo que estamos hablando, el número de generaciones que nos separan de nuestros primeros ancestros habría que medirlo en miles de millones. Si tenemos, por ejemplo, cien millones de X, deberíamos ser capaces de construir una serie creíble de gradaciones diminutas que estableciesen una unión entre el ojo humano y cualquier otra cosa.

Hasta ahora, mediante un proceso de razonamiento más o menos abstracto, hemos llegado a la conclusión de que existe una serie de X imaginables, lo suficientemente similares como para poder transformarse, aparentemente, entre sí, y que esta serie completa uniría el ojo humano, retrospectivamente, con un punto en el que aún no existía. Pero todavía no hemos demostrado que esto sea plausible, que esta serie de X existieran en realidad. Tenemos dos preguntas más que contestar.

4. Considerando aisladamente los miembros de la serie de hipotéticos X que conectan el ojo con un punto en el que éste no existía, ¿es posible que cada uno de ellos se origine por una mutación al azar de su predecesor?

Ésta es, realmente, una pregunta de embriología, no de genética, y es una cuestión enteramente diferente de la que preocupaba al obispo de Birmingham, entre otros. Las mutaciones funcionan modificando el proceso de desarrollo embrionario existente. Es discutible que cierto tipo de procesos embrionarios estén muy sujetos a variaciones en una dirección, y se resistan a sufrirlas en otras. Volveré sobre este tema en el capítulo 11, aunque aquí subrayaré una vez más la diferencia entre un cambio pequeño y uno grande. Cuanto más pequeño sea el cambio postulado, y más pequeña sea la diferencia entre X'' y X', más posible será, desde un punto de vista embriológico, la mutación que nos preocupa. En el capítulo anterior vimos, sobre una base puramente estadística, que una mutación grande *cualquiera*, es inherentemente menos probable que una pequeña. Por consiguiente, sea cual fuere el problema que pueda originar la pregunta 4, vemos que cuanto más pequeña hagamos la diferencia entre un X' y un X'' determinados, más pequeño será éste. Mi idea es que, siempre que la diferencia entre los intermediarios vecinos de nuestra serie que conduce al ojo sea *suficientemente pequeña*, las mutaciones precisas están casi obligadas a aparecer. Después de todo, estamos hablando siempre de pequeños cambios cuantitativos en un proceso embriológico existente. Hay que recordar que, no importa lo complejo

que pueda ser el *status quo* embriológico de una generación determinada, cada *cambio* mutacional en ese *status quo* puede ser muy pequeño y simple.

Tenemos una pregunta final que responder:

5. Considerando aisladamente los miembros de la serie X que conectan el ojo humano con el comienzo de su existencia, ¿es posible que cada uno funcionase lo suficientemente bien como para haber contribuido a la supervivencia y reproducción de los animales implicados?

Curiosamente, algunas personas han pensado que la respuesta a esta pregunta es un «no» evidente. Por ejemplo, cito un párrafo del libro de Francis Hitching, escrito en 1982, titulado: *The Neck of the Giraffe or Where Darwin Went Wrong* (El cuello de la jirafa o dónde se equivocó Darwin). Podría haber acotado básicamente estas mismas palabras en cualquier folleto de los Testigos de Jehová, pero escogí este libro porque un editor reputable (Pan Books Ltd.) lo encontró apropiado para su publicación, a pesar de contener un gran número de errores que hubiesen sido detectados rápidamente, si se le hubiese pedido a un licenciado en biología en paro, o incluso a un estudiante, que echase un vistazo al manuscrito. (Mis errores favoritos, si se me permiten dos bromas, son la concesión del título de caballero al profesor John Maynard Smith, y la descripción del profesor Ernst Mayr, este elocuente y gran antimatemático archicrítico de la genética matemática, como el «sumo sacerdote» de la genética matemática.)

Para que el ojo funcione, tienen que producirse los siguientes pasos mínimos, perfectamente coordinados (hay otros muchos que se producen simultáneamente, pero incluso una descripción muy simplificada resulta suficiente para señalar los problemas de la teoría de Darwin). El ojo debe estar limpio y húmedo, mantenido en este estado por la interacción de la glándula lacrimal y el movimiento de los párpados, cuyas pestañas actúan también como un filtro rudimentario frente al sol. La luz pasa luego a través de una pequeña sección transparente de la capa protectora externa (la *córnea*), y continúa a través del *crystalino*, que la enfoca hacia la *retina* en la parte posterior. Aquí se producen reacciones fotoquímicas en 130 millones de conos y bastones, que transforman la luz en impulsos eléctricos. Alrededor de 1000 millones de estos impulsos son transmitidos cada segundo, por mecanismos que no se comprenden en su totalidad, hasta el cerebro, que realiza las acciones apropiadas.

Ahora bien, es bastante evidente que si la más ligera cosa no funciona en *este trayecto* —si la *córnea* está borrosa, o la pupila no se dilata, o el *crystalino* se torna opaco, o el enfoque no funciona— entonces no se formaría una imagen reconocible. El ojo funciona como un todo, o no funciona. De manera que ¿cómo pudo llegar a evolucionar mediante lentas, continuas e infinitamente pequeñas mejoras darwinianas? ¿Es realmente posible que se produzcan miles de mutaciones al azar de manera coincidente, de forma que el *crystalino* y la *retina*, que no pueden funcionar el uno sin el otro, evolucionaran sincronizados? ¿Qué valor puede tener para la supervivencia un ojo que no puede ver?

Este notorio argumento se propone con mucha frecuencia, presumiblemente porque la gente *quiere* creer en su conclusión. Considerar la afirmación de que «si la más ligera cosa no funciona... si el enfoque no funciona... no se forma una imagen reconocible». La probabilidad de que alguien esté leyendo estas palabras a través de unas gafas no puede estar más allá del 50/50. Quitese las y mire a su alrededor. ¿Estaría usted de acuerdo con que no se forma una imagen que pueda reconocerse? Si es usted varón, las probabilidades son de 1 en 12 de que sea daltónico. Puede que también tenga astigmatismo. No es improbable que, sin gafas, su visión sea una mancha borrosa. Uno de los teóricos actuales más distinguidos en el campo de la evolución (aunque todavía no haya sido armado caballero) limpia

sus gafas en tan raras ocasiones que probablemente sólo pueda ver manchas borrosas, aunque parece llevarlo bastante bien y, según cuenta, solía jugar un juego parecido al squash con monóculo. Si pierde sus gafas, puede ser que sus amigos se inquieten cuando no les reconozca en la calle. Pero usted mismo se inquietaría más si alguien le dijese: «Como su vista no es ahora absolutamente perfecta, tiene que moverse con los ojos completamente cerrados hasta que encuentre de nuevo sus gafas». Esto es, sin embargo, lo que sugiere el autor del pasaje que he acotado.

También afirma que el cristalino y la retina no pueden trabajar el uno sin el otro. ¡Con qué autoridad! Alguien cercano a mí ha sufrido una operación de cataratas en ambos ojos. Como resultado, no tiene ninguno de los dos cristalinos. Sin gafas, no podría ni siquiera iniciar una jugada de tenis o apuntar con un rifle. Pero me asegura que se está mucho mejor con los ojos sin cristalino que sin ojos. Todavía puede decir cuándo va a chocar contra una pared o contra otra persona. Si fuese una criatura salvaje, podría utilizar los ojos sin cristalino para detectar la presencia de la silueta de un depredador, y la dirección desde la que se aproxima. En un mundo primitivo, donde unas criaturas no tuviesen ojos, y otras tuviesen ojos sin cristalino, estas últimas tendrían toda suerte de ventajas. Y hay una serie continua de X, de forma que cada diminuta mejora en la agudeza de la imagen, desde la mancha que se desliza hasta la visión perfecta, aumenta en apariencia las posibilidades de supervivencia del organismo.

El libro continúa citando a Stephen Jay Gould, el notorio paleontólogo de Harvard, diciendo:

Eludimos una excelente pregunta: ¿qué ventaja tiene un cinco por ciento de un ojo?, arguyendo que el poseedor de una estructura tan incipiente no la utilizaría para ver.

Un animal primitivo con un cinco por ciento de un ojo podría haberlo utilizado para alguna otra cosa distinta que para ver, pero a mí me parece que existe la misma probabilidad de que lo utilizase para gozar de un cinco por ciento de visión. Y, en realidad, no pienso que sea ésta una excelente pregunta. Una visión que es un cinco por ciento tan buena como la de otra persona o la mía tiene mucho valor, comparada con la falta total de visión. Igual que es mejor una visión de un uno por ciento que la ceguera total. Y el seis por ciento es mejor que el cinco, el siete por ciento mejor que el seis, y así sucesivamente, a lo largo de una serie gradual y continua.

Esta clase de problemas preocupa a algunas personas interesadas en los animales que se protegen contra los depredadores mediante «mimetismo». Los insectos con forma de ramita parecen ramitas y evitan así que los devoren los pájaros. Los insectos con forma de hoja parecen hojas. Muchas especies comestibles de mariposas mejoran su protección asemejándose a otras especies nocivas o venenosas. Estos parecidos son mucho más impresionantes que el de las nubes con las comadrejas. En muchos casos, son más impresionantes que el parecido de «mis» insectos con los insectos reales. Los insectos reales, después de todo, ¡tienen seis patas, no ocho! La selección natural real ha tenido, sin embargo, un millón de veces más generaciones de las que yo he tenido, para perfeccionar el parecido.

Utilizamos la palabra «mimetismo» en estos casos, no porque pensemos que los animales imitan conscientemente otras cosas, sino porque la selección natural ha favorecido a aquellos individuos cuyos cuerpos se confunden con otras cosas. Para decirlo de otra manera, los antepasados de los insectos con forma de ramita que no parecían ramitas, no dejaron descendientes. El genetista germano ameri-

cano Richard Goldschmidt es el más destacado entre los que han discutido que la evolución *primitiva* de estos parecidos no puede haber sido favorecida por la selección natural. Como dice Gould, un admirador de Goldschmidt, sobre los insectos que se asemejan al estiércol: «¿puede haber alguna ventaja en parecerse un cinco por ciento a un trozo de estiércol?». En gran parte bajo la influencia de Gould, se ha puesto recientemente de moda decir que Goldschmidt fue infravalorado en su tiempo, y que tiene mucho que enseñarnos. He aquí un ejemplo de su razonamiento.

Ford habla... de cualquier mutación que consiga suministrar un «parecido remoto» con otra especie más favorecida, de la que pudiera resultar alguna ventaja, por ligera que fuera. Debemos preguntarnos hasta dónde debe llegar el parecido para que tenga un valor selectivo. Podemos asumir que los pájaros, los monos y las mantis son unos observadores tan maravillosos (o que algunos muy listos entre ellos lo son) como para observar una semejanza «remota» y ser repelidos por ella. Yo pienso que es pedir demasiado.

Este sarcasmo enfermizo se convierte en algo distinto en el firme inseguro que pisa aquí Goldschmidt. ¿Observadores *maravillosos*? ¿Algunos muy *listos* entre ellos? ¡Cualquiera pensaría que los pájaros y los monos se *benefician* de ser engañados por un parecido remoto! Goldschmidt podría haber dicho: «¿Podemos realmente asumir que los pájaros, etc., son tan *poco* observadores (o que algunos muy estúpidos entre ellos lo son)?». Sin embargo, aquí se encierra un verdadero dilema. La semejanza inicial del antepasado del insecto-ramita con una ramita debe de haber sido muy remota. Un pájaro tendría que tener una visión extremadamente *mala* para ser engañado por él. Aun así, la semejanza de un insecto-ramita moderno con una ramita es francamente buena, hasta detalles tan finos como un brote falso o un nervio de una hoja. Los pájaros cuya actividad depredadora selectiva puso los toques finales a su evolución, deben de haber tenido, por lo menos colectivamente, una visión *excelente*. Debe de haber sido extremadamente difícil engañarlos; de otra manera, los insectos no habrían evolucionado hasta llegar a ser las perfectas imitaciones que son: hubiesen permanecido como imitaciones relativamente imperfectas. ¿Cómo podríamos resolver esta aparente contradicción?

Un tipo de respuesta sugiere que la visión del pájaro habría ido mejorando, durante el mismo intervalo de tiempo evolucionario, de igual manera que el camuflaje del insecto. Quizá, siendo un poco bromista, un antepasado de los insectos que se pareciese sólo un cinco por ciento a un excremento habría engañado a un pájaro con sólo un cinco por ciento de visión. Pero no es esta la clase de respuesta que quiero dar. Sospecho que todo el proceso evolutivo, desde el parecido remoto al mimetismo casi perfecto, transcurrió con bastante rapidez, a veces más en diferentes grupos de insectos, durante un largo período en el que la visión de los pájaros habría sido tan buena como lo es hoy día.

Otro tipo de respuesta ofrecido para resolver este dilema es la siguiente. Quizá cada especie de pájaro o mono tuviese mala visión y se concentrara sólo en un aspecto limitado de un insecto. Puede ser que una especie de depredador observase sólo el color, otra sólo la forma, otra sólo la textura, y así sucesivamente. Por consiguiente, un insecto que se asemejase a una ramita engañaría sólo a un tipo de depredador con un punto de vista limitado, aun cuando pudiese ser devorado por otras clases de depredadores. Al ir progresando la evolución, se irían añadiendo más y más rasgos al repertorio de semejanzas de los insectos. La perfección final multifacética de cualquier mimetismo se lograría gracias a la suma de las selecciones naturales facilitadas por las distintas especies de depreda-

dores. Ningún depredador vería toda la perfección de un mimetismo, sólo la vemos nosotros.

Esto parece implicar que sólo nosotros somos lo suficientemente «listos» para ver el mimetismo en toda su gloria. No es sólo a causa de esta aparente superioridad humana por lo que prefiero otra explicación. Esta explicación consiste en que no importa lo buena que sea la visión de un depredador en unas circunstancias determinadas, puede ser sumamente pobre en otras. De hecho, podemos apreciar fácilmente con nuestra experiencia habitual todo el espectro desde una visión extremadamente pobre hasta una visión excelente. Si miro un insecto con forma de ramita, situado 12 cm delante de mi nariz en un día luminoso, no me engañaría. Podría observar las largas patas moviéndose cerca de la línea del tronco. Podría descubrir una simetría artificial que no tiene una ramita real. Pero si, con los mismos ojos y el mismo cerebro, estoy paseando por un bosque al anochecer, probablemente no lograría distinguir ningún insecto de color oscuro de las ramitas que abundan por todas partes. O puede que la imagen del insecto se reflejase en el borde de mi retina, en lugar de hacerlo en la zona central, más aguda. O también que el insecto estuviese a unos 50 metros de distancia y, por lo tanto, representase una diminuta imagen en mi retina. O que hubiese tan poca luz que difícilmente pudiera ver algo.

De hecho, no importa lo remoto o escaso que sea el parecido de un insecto con una rama, tiene que haber poca iluminación, o estar a cierta distancia del ojo, o existir cierto grado de distracción en la atención del depredador, para que una buena visión resulte confundida por una semejanza remota. Si esto no se encuentra creíble en el ejemplo que se ha imaginado, basta atenuar un poco la luz imaginada, o alejarse un poco del objeto imaginado. Lo esencial es que muchas veces un insecto se salva teniendo un parecido extremadamente ligero con una ramita, una hoja o un trozo de estiércol caído, en ocasiones porque estaba lejos del depredador, o porque el depredador le estaba mirando en la oscuridad, o a través de la niebla, o mientras estaba distraído con una hembra receptiva. Y otras muchas veces se salva, quizá del mismo depredador, debido a su misterioso parecido con una ramita, cuando el depredador lo estaba mirando desde cerca y con buena luz. Lo importante sobre la intensidad de luz, la distancia entre el insecto y el depredador, la distancia entre la imagen y el centro de la retina, y otras variables similares, es que todas son variables *continuas*. Varían insensiblemente a lo largo de todo un intervalo que va desde el extremo de la invisibilidad al extremo de la visibilidad. Estas variables continuas fomentan una evolución gradual y continua.

El problema de Richard Goldschmidt —parte de un conjunto que le hizo recurrir, durante la mayor parte de su vida profesional, a la creencia extrema de que la evolución da grandes saltos en lugar de pequeños pasos— resulta que no es un problema, después de todo. Incidentalmente, también hemos demostrado, una vez más, que un cinco por ciento de visión es mejor que nada. La calidad de mi visión justo en el borde de mi retina es probable que tenga incluso menos del cinco por ciento de la calidad del centro de mi retina, cualquiera que sea la forma en que se mida esta calidad. Y aun así puedo detectar la presencia de un gran camión o un autobús con el rabillo del ojo. Puesto que conduzco una bicicleta para ir a trabajar todos los días, es bastante probable que este hecho haya salvado mi vida más de una vez. Observo la diferencia en aquellas ocasiones en las que llueve o en las que llevo puesto un sombrero. La calidad de nuestra visión en una noche oscura debe ser mucho menor que el cinco por ciento de lo que lo es a mediodía. Y, sin embargo, muchos de nuestros antepasados se salvaron gracias a que vieron algo realmente importante, quizá un tigre de dientes de sable, o un precipicio, en medio de la noche.

Todos sabemos, por experiencia personal, que, en las noches oscuras, hay una serie insensiblemente continua de gradaciones que van desde una ceguera total hasta una visión perfecta, y que cada escalón a lo largo de esta serie otorga unos beneficios significativos. Una visión del mundo a través de unos binoculares enfocados y desenfocados de manera progresiva, puede convencernos rápidamente de que hay una serie gradual de calidades en el enfoque, siendo cada paso de esta serie una mejora sobre el anterior. Al girar progresivamente el mando de color de una televisión, podemos convencernos de que hay una serie gradual de mejoras progresivas desde el blanco y negro hasta la visión total en color. El diafragma del iris que abre y cierra la pupila evita que quedemos deslumbrados por una luz brillante, al mismo tiempo que nos permite ver con una luz oscura. Todos hemos experimentado lo que es no tener diafragma en el iris, cuando quedamos deslumbrados momentáneamente por las luces delanteras de un coche que se aproxima. Aunque este deslumbramiento pueda ser desagradable, e incluso peligroso, ¡no significa que el ojo haya dejado de trabajar! La afirmación de que «el ojo funciona como un todo o no funciona» resulta que es no sólo falsa sino patentemente falsa para cualquiera que piense durante dos segundos en su experiencia personal.

Volvamos a la pregunta 5. Considerando todos los miembros de la serie de X que conectan el ojo humano con la nada, ¿es posible que cada uno de ellos funcionase lo suficientemente bien como para contribuir a la supervivencia y reproducción de los animales implicados? Hemos visto la estupidez de la suposición antievolucionista de que la respuesta es un no obvio. Pero ¿es un sí? Resulta menos obvio, pero pienso que lo es. No sólo está claro que una parte del ojo es mejor que nada. También es posible encontrar una serie de estadios intermedios potenciales entre los animales modernos. Esto no significa, por supuesto, que estos estadios intermedios modernos representen estadios ancestrales. Pero sirve para demostrar que los diseños intermedios pueden funcionar.

Algunos animales unicelulares tienen un punto sensible a la luz con una pequeña pantalla pigmentada en su parte posterior. La pantalla les protege de la luz que viene en un sentido, lo que les da una «idea» de dónde procede. Entre los animales multicelulares, varias clases de gusanos y algunos moluscos tienen una estructura similar, aunque las células fotosensibles tapizadas con un pigmento estén aquí localizadas en una pequeña depresión. Esto les da una capacidad mayor de direccionamiento, ya que cada célula está protegida selectivamente de los rayos de luz que penetran en la depresión por su lado. En esta serie continua que va desde la zona plana de células fotosensibles, pasando por la depresión poco profunda, hasta la evaginación profunda, cada escalón en la serie, sea pequeño o grande, debe constituir una mejora. Ahora, si tenemos una evaginación muy profunda y cerramos los bordes, tendremos una cámara oscura. Existe una serie gradual continua que va desde la depresión poco profunda hasta la cámara oscura (véanse como ilustración, las primeras siete generaciones de la serie evolutiva de la figura 4).

Una cámara oscura forma una imagen definida, más nítida (pero más oscura) cuanto más pequeño es el agujero, y más brillante (pero más borrosa) cuanto más grande. El molusco nadador *Nautilus*, una criatura bastante extraña parecida al calamar, que vive en una concha como los extintos ammonites (véase el «cefalópodo con concha» de la figura 5), tiene un par de cámaras oscuras como ojos. El ojo tiene básicamente la misma forma que el nuestro, pero no tiene cristalino y la pupila es un agujero que deja entrar el agua del mar en el interior del ojo hueco. Realmente, el *Nautilus* es un rompecabezas. ¿Por qué, durante los cientos de millones de años desde que evolucionó la cámara oscura en sus antepasados, no

descubrió nunca el principio del cristalino? La ventaja del cristalino es que permite que la imagen sea brillante y nítida a la vez. Lo preocupante sobre el *Nautilus* es que la calidad de su retina sugiere que se beneficiaría realmente en gran medida, y de manera inmediata, si tuviese un cristalino. Es como un sistema de alta fidelidad con un amplificador excelente, alimentado por un gramófono con la aguja despuntada. El sistema está pidiendo a gritos un cambio determinado muy simple. En el hiperespacio genético, el *Nautilus* parece estar sentado muy cerca de una mejora obvia e inmediata, pero no acomete este pequeño paso necesario. ¿Por qué no? Michael Land, de la Universidad de Sussex, nuestra primera autoridad en ojos de vertebrados, está muy interesado en este tema, y yo también. ¿Es que no pueden originarse las mutaciones necesarias, dada la forma en que se desarrollan los embriones de *Nautilus*? No quiero creerlo, pero no encuentro una explicación mejor. Por lo menos, el *Nautilus* dramatiza el punto de que un ojo sin cristalino es mejor que nada.

Cuando se tiene una vesícula por ojo, cualquier material ligeramente conve-xo, transparente o incluso traslúcido colocado sobre su apertura constituiría una mejora, a causa de sus propiedades similares a las de las lentes. Recoge la luz que incide sobre su área y la concentra sobre un área más pequeña en la retina. Una vez presente este tipo de protolente rudimentaria, se produce una serie continua de mejoras graduales, que la engrosan y la hacen más transparente y menos distorsionante, culminando en lo que todos reconoceríamos como un verdadero cristalino. Los parientes del *Nautilus*, los calamares y los pulpos, tienen cristalinos verdaderos, muy similares a los nuestros, aunque en sus antepasados tuvo lugar una evolución del principio de la cámara oscura completamente independiente de la nuestra. Michael Land considera que hay nueve principios básicos utilizados por los ojos en la formación de imágenes, y que muchos de ellos han evolucionado la mayoría de las veces de forma independiente. Por ejemplo, el principio del espejo curvo, que es radicalmente diferente de nuestra cámara ocular (lo utilizamos en los radiotelescopios, y también en nuestros telescopios más grandes porque es más fácil hacer un espejo grande que una lente grande), ha sido «inventado» independientemente por varios moluscos y crustáceos. Otros crustáceos tienen ojos compuestos, como los insectos (en realidad, un acúmulo de ojos diminutos), mientras otros, a su vez, como hemos visto, tienen una cámara ocular con lentes como la nuestra, o simplemente una cámara oscura. Para cada uno de estos modelos de ojo existen estadios que se corresponden con los estadios intermedios evolutivos que funcionan como ojos en otros animales modernos.

La propaganda antievolucionista está llena de supuestos ejemplos de sistemas complejos que «probablemente no podrían» haber pasado a través de una serie gradual de estadios intermedios. Esto sólo constituye, con frecuencia, otro caso más del patético «argumento de la incredulidad personal» que encontramos en el capítulo 2. Inmediatamente después de la sección sobre el ojo, *The Neck of the Giraffe* continúa la exposición con el ejemplo del escarabajo bombardero, el cual

lanza a la cara de sus enemigos un chorro de una mezcla letal de hidroquinona y peróxido de hidrógeno. Estas dos sustancias químicas, cuando se mezclan, explotan. Así que para almacenarlas dentro del cuerpo, el escarabajo bombardero consiguió producir, durante su evolución, inhibidores químicos que los tornan indefensos. En el momento en que el escarabajo lanza el chorro de líquido fuera de su cola, se añade un antiinhibidor, que hace que la mezcla sea de nuevo explosiva. La cadena de sucesos que han conducido a la evolución de esta clase de complejidad, la coordinación sutil de este proceso, está más allá de una explicación biológica sobre la base de cambios hechos paso a paso. La más ligera alteración en el balance químico daría como resultado inmediato una estirpe de escarabajos explosivos.

Un colega bioquímico me ha facilitado amablemente una botella de peróxido de hidrógeno, y la suficiente hidroquinona como para 50 escarabajos bombarderos. Estoy a punto de mezclar las dos sustancias. De acuerdo con lo expresado anteriormente, explotarán en mi cara. Allá vamos...

Bien, aquí estoy, todavía. Mezclé el peróxido de hidrógeno con la hidroquinona, y no sucedió absolutamente nada. Ni siquiera se calentó la mezcla. Por supuesto sabía que pasaría esto: ¡no soy tan temerario! La afirmación de que «estas dos sustancias químicas explotan cuando se mezclan» es, simplemente, falsa, aunque se repita de forma regular en la literatura creacionista. Si existe alguna curiosidad sobre esta faceta del escarabajo bombardero, dicho sea de paso, lo que sucede es lo que sigue. Es cierto que lanza sobre sus enemigos un chorro de una mezcla muy caliente de peróxido de hidrógeno e hidroquinona. Pero ambos no reaccionarán violentamente, a menos que se añada un catalizador. Esto es lo que hace el escarabajo bombardero. En lo que se refiere a los precursores evolutivos del sistema, tanto el peróxido de hidrógeno como varias clases de hidroquinonas se utilizan con otros fines bioquímicos en el organismo. Los antepasados del escarabajo bombardero simplemente ejercieron presión sobre diferentes sustancias químicas que ya estaban presentes. Así es como trabaja la evolución, con frecuencia.

En la misma página del libro donde se describe el pasaje del escarabajo bombardero, figura la pregunta: «¿Qué utilidad tendría medio pulmón? La selección natural eliminaría, con seguridad, a las criaturas con tales rarezas, en lugar de preservarlas». En un ser humano adulto sano, cada pulmón está dividido en unos 300 millones de cámaras diminutas, situadas en los extremos de un sistema de tubos ramificados. La arquitectura de estos tubos se asemeja al árbol de bioformas de la parte inferior de la figura 2, en el capítulo anterior. En este árbol, el número de ramificaciones sucesivas, determinado por el «gen 9», es de ocho, y el número de puntas de ramitas es de 2 elevado a 8, o sea, 256. Según se va recorriendo la página hacia abajo, el número de puntas de ramitas se duplica sucesivamente. Con el fin de obtener 300 millones de puntas de ramitas, sólo serían necesarias 29 duplicaciones sucesivas. Obsérvese que hay una gradación continua desde la cámara única hasta los 300 millones de cámaras diminutas, y que cada escalón en la gradación viene definido por otra bifurcación ramificada. Esta transición puede realizarse con 29 ramificaciones, que podemos imaginar ingenuamente como un paseo sublime de 29 pasos a través del espacio genético.

El resultado de todas estas ramificaciones es que el área de la superficie interna de cada pulmón es mayor que 60 metros cuadrados. El área es una variable importante para el pulmón, ya que determina el ritmo al que puede entrar el oxígeno y salir el dióxido de carbono de desecho. Ahora bien, lo importante sobre el área es que es una variable *continua*. El área no es algo que se tiene o no se tiene. Es algo de lo que uno puede tener un poco más o un poco menos. Se presta, más que otras muchas cosas, a un cambio *gradual*, a lo largo de todo un rango que va desde 0 hasta 60 metros cuadrados.

Hoy día, muchos pacientes intervenidos quirúrgicamente viven con un solo pulmón, y algunos han sufrido una reducción de hasta un tercio del área normal de un pulmón. Pueden pasear, aunque no muy lejos, o muy rápido. Este es el punto. El efecto de la reducción gradual del área pulmonar no tiene un efecto absoluto de todo o nada sobre la supervivencia. Es un efecto gradual, que muestra una variación continua sobre la distancia que se puede recorrer paseando, o la rapidez. Un efecto gradual, que muestra una variación continua, por supuesto, sobre la expectativa de vida. ¡La muerte no llega súbitamente por debajo de un umbral determinado de área pulmonar! Se va haciendo gradualmente más

probable cuando el área pulmonar se reduce por debajo de un nivel óptimo (y también cuando aumenta por encima del nivel óptimo, por diversas razones en conexión con un mal aprovechamiento económico).

El primero de nuestros antepasados que desarrolló pulmones vivía casi con certeza en el agua. Podemos hacernos una idea de cómo sería su respiración observando los peces actuales. La mayoría de estos peces respiran dentro del agua a través de branquias, pero muchas especies que viven en aguas sucias, cenagosas, complementan esta respiración aspirando aire en la superficie. Utilizan la cavidad interna de la boca como una especie de pulmón primitivo (protopulmón) muy rudimentario, y esta cavidad se agranda a veces, formando una bolsa respiratoria, rica en vasos sanguíneos. Como hemos visto, no hay problema en imaginarse una serie de X continuos que conecten un saco único con un conjunto ramificado de 300 millones de sacos, como sucede en el pulmón humano en la actualidad.

Muchos peces actuales han mantenido el saco único, y lo utilizan con un propósito completamente diferente. Aunque probablemente comenzó siendo un pulmón, a lo largo del curso de la evolución se ha transformado en la vejiga natatoria, un ingenioso mecanismo gracias al cual los peces se mantienen como un hidrostato en equilibrio permanente. Un animal sin una vejiga de aire en su interior es normalmente más pesado que el agua, de forma que se hunde hacia el fondo. Esta es la razón de por qué los tiburones tienen que nadar continuamente para evitar hundirse. Un animal con grandes bolsas de aire en su interior, como nosotros con nuestros grandes pulmones, tendería a elevarse hacia la superficie. En algún punto medio de este espectro continuo, un animal con una vejiga de aire de tamaño correcto no se hundiría ni se elevaría, sino que flotaría en equilibrio, sin tener que realizar ningún esfuerzo. Este es el truco que han perfeccionado los peces actuales, excepción hecha de los tiburones. A diferencia de los tiburones, los peces no gastan energía para evitar hundirse. Sus aletas y su cola quedan así libres para guiarse e impulsarse con rapidez. No tienen que depender más del aire exterior para llenar la vejiga, sino que tienen unas glándulas especiales que producen el gas. Utilizando estas glándulas y otros mecanismos, regulan con precisión el volumen de gas en la vejiga, y de esta manera mantienen un equilibrio hidrostático adecuado.

Varias especies de peces modernos pueden abandonar el agua. En un extremo está la perca trepadora india, que raramente entra en el agua. En ella ha evolucionado independientemente un tipo de pulmón bastante diferente del pulmón de nuestros antepasados, una cámara de aire que rodea las branquias. Otros peces viven en el agua, pero hacen breves incursiones fuera de ella. Esto sería, tal vez, lo que hicieron nuestros antepasados. Lo importante sobre las incursiones es que su duración puede variar de manera continua, hasta llegar a cero. Si hay un pez que básicamente vive y respira en el agua, pero que en ocasiones se aventura en tierra, quizá para cruzar desde un charco de lodo a otro, y sobrevivir así a una sequía, podría beneficiarse no sólo de medio pulmón sino de una centésima de pulmón. No importa lo pequeño que sea un pulmón primitivo, debe de haber un período de tiempo durante el cual se podría resistir fuera del agua, un poco más que sin ese pulmón. El tiempo es una variable continua. No hay ninguna división rígida entre los animales que respiran en el agua y los que respiran en el aire. Distintos animales pueden emplear el 99 % de su tiempo en el agua, el 98 %, el 97 %, y así sucesivamente, hasta el 0 %. En cada etapa del camino, cualquier aumento fraccionario del área pulmonar constituirá una ventaja. Existe una continuidad, y una gradación, a todo lo largo del camino.

¿Qué utilidad tiene media ala? ¿Cómo aparecieron las alas? Muchos animales

saltan de rama en rama, y a veces caen al suelo. La superficie corporal, especialmente en los animales pequeños, retiene el aire ayudando a dar el salto, o amortiguando la caída, actuando como un paracaídas muy rudimentario. Cualquier tendencia a incrementar la relación entre la superficie y el peso ayudaría a esta función; por ejemplo, unos colgajos de piel que creciesen en los ángulos de las articulaciones. A partir de aquí, habría una serie de gradaciones hasta desembocar en alas planeadoras, y de aquí a las alas móviles. Obviamente, hay distancias que no podrían haber saltado los primeros animales equipados con alas rudimentarias (protoalas). Es igualmente obvio que a cada pequeño aumento en el tamaño o mejora en el diseño de las superficies primitivas utilizadas para retener el aire, le debería corresponder una distancia, aunque sea corta, que podría saltarse con este colgajo pero no sin él.

Si el prototipo de colgajo de alas funcionase para amortiguar la caída del animal, no podríamos decir «Por debajo de cierto tamaño, los colgajos no tienen utilidad». Una vez más, no importa el tamaño ni la falta de parecido que tuviesen los primeros colgajos con las alas. Debe de haber habido alguna altura, llamémosla h , tal que un animal se rompería el cuello si cayese desde ella, pero sobreviviría si cayese desde una altura ligeramente más baja. Dentro de esta zona crítica, cualquier mejora en la capacidad del cuerpo para retener el aire y amortiguar la caída, no importa lo ligera que ésta fuese, podría representar la diferencia entre la vida y la muerte. La selección natural favorecería así los prototipos de colgajos alares. Cuando éstos se hubiesen convertido en la norma, la altura crítica h se haría ligeramente mayor. En este momento, un ligero aumento de los colgajos alares establecería la diferencia entre la vida y la muerte. Y así sucesivamente, hasta que tuviésemos unas alas características.

Hoy día, hay animales vivos que ilustran bellamente cada estadio del espectro continuo. Hay ranas que planean equipadas con grandes membranas entre sus dedos, serpientes de árbol con cuerpos aplastados que retienen el aire, lagartos con colgajos a lo largo de sus cuerpos, y diversas clases de mamíferos que planean gracias a la presencia de membranas que se extienden entre sus miembros, y que nos muestran el camino que debieron de seguir los murciélagos en sus comienzos. Contrariamente a lo expresado en la literatura creacionista, no sólo son frecuentes los animales con «medias alas», sino también los animales con un cuarto de ala, tres cuartos de ala, y así sucesivamente. La idea de un espectro continuo de maneras de volar se torna aún más persuasiva cuando recordamos que los animales muy pequeños tienden a flotar suavemente en el aire, con independencia de su tamaño. El motivo por lo que esto resulta convincente es que hay un espectro continuo con infinitas gradaciones entre lo pequeño y lo grande.

La idea de la existencia de cambios diminutos acumulados a lo largo de muchos estadios es muy poderosa, capaz de explicar un enorme rango de cosas que de otra forma resultarían inexplicables. ¿Cómo se originó el veneno en las serpientes? Muchos animales muerden, y su saliva contiene proteínas que, si penetran en una herida, pueden producir una reacción alérgica. Incluso las llamadas serpientes no venenosas pueden producir mordeduras que originan reacciones dolorosas en algunas personas. Existe una serie continua, gradual, desde la saliva ordinaria hasta el veneno mortal.

¿Cómo se originaron las orejas? Cualquier trozo de piel puede detectar vibraciones, si entra en contacto con un objeto que vibre. Esto es consecuencia del sentido del tacto. La selección natural podría haber intensificado esta facultad de una manera gradual, hasta que fuese lo suficientemente sensible como para captar vibraciones muy ligeras. En este momento, tendría la sensibilidad necesaria como para captar vibraciones transmitidas por el aire que fuesen lo adecuada-

mente fuertes o estuviesen lo suficientemente cercanas a su origen. La selección natural favorecería entonces la evolución de unos órganos especiales, las orejas, para captar estas vibraciones transmitidas por el aire, y originadas a partir de distancias que irían aumentando de forma continua. Es fácil ver que debe de haber habido una trayectoria continua de mejoras, paso a paso, hasta el final. ¿Cómo se originó la ecolocalización? Cualquier animal que pueda oír, puede oír ecos. Los ciegos aprenden a utilizar estos ecos. Una versión rudimentaria de esta habilidad en los antepasados de los mamíferos podría haber suministrado suficiente materia prima como para que la selección natural actuase, desembocando, mediante etapas graduales, en la elevada perfección de los murciélagos.

Un cinco por ciento de visión es mejor que nada. Un cinco por ciento de audición es mejor que nada. Un cinco por ciento de cualquier eficiencia en el vuelo es mejor que nada. Es posible que cada órgano o aparato que vemos en la actualidad sea el producto de una trayectoria uniforme a través del espacio animal, una trayectoria en la que cada estadio intermedio contribuyó a la supervivencia y a la reproducción. Dondequiera que tengamos un X en un animal real vivo, y X sea un órgano demasiado complejo como para haberse originado aleatoriamente en una sola etapa, entonces, de acuerdo con la teoría de la evolución por selección natural, se daría el caso de que una fracción de X sería mejor que nada; y dos fracciones de X serían mejor que una; y un X completo mejor que nueve décimas de X. No encuentro problema alguno en aceptar que estas afirmaciones sean ciertas en el caso de los ojos, las orejas, incluyendo las orejas de los murciélagos, las alas, los insectos que se camuflan o muestran algún mimetismo, las mandíbulas de las serpientes, los agujones, los hábitos de los cuculillos y el resto de los ejemplos mostrados por la propaganda antievolutionista. No hay duda de que pueden *concebirse* muchos X en los que estas afirmaciones no serían ciertas, muchas vías evolutivas en las que los estadios intermedios no serían mejores que sus predecesores. Pero estos X no se encuentran en el mundo real.

Darwin escribió (en *El origen de las especies*):

Si pudiese demostrarse que ha existido algún órgano que no hubiese podido formarse por una sucesión de ligeras modificaciones, mi teoría se vendría abajo.

Ciento veinticinco años después, sabemos mucho más sobre animales y plantas que Darwin, y todavía no conozco ningún caso de un órgano complejo que no hubiese podido ser formado por una sucesión de ligeras modificaciones. No creo que llegue a encontrarse. Si existe, tendría que ser un órgano *realmente* complejo y, como veremos en capítulos posteriores, hay que ser muy sofisticado en lo que se refiere al significado de «ligeras modificaciones» para creer en el darwinismo.

Algunas veces, la historia gradual de los estadios intermedios está escrita claramente en la forma que tienen los animales actuales, incluso en forma de francas imperfecciones en el diseño final. Stephen Gould, en su excelente ensayo *El pulgar del Panda (The Panda's Thumb)*, insiste en que la evolución puede defenderse con más fuerza con la evidencia que supone la descripción de las imperfecciones que con la evidencia de la perfección. Pondré sólo dos ejemplos.

Los peces que viven en el fondo del mar se benefician al ser planos y navegar ayudados por su forma. Hay dos clases de peces planos muy distintos, que viven en el fondo del mar, en los que la forma plana ha evolucionado de manera bastante diferente. Las mantas y las rayas, parientes de los tiburones, se han ido aplanando, siguiendo lo que podríamos llamar el camino obvio. Sus cuerpos han

producido excrescencias laterales en forma de grandes «alas». Son como tiburones a los que hubiese pasado por encima una apisonadora de vapor, dejándolos simétricos y «bien ordenados en sentido vertical». La acedia, el lenguado, el hipogloso y sus parientes se han aplanado de una manera diferente. Son peces de esqueleto óseo (con vejiga natatoria) relacionados con los arenques, las truchas, etc., y no tienen nada que ver con los tiburones. A diferencia de éstos, los peces de esqueleto óseo tienen una marcada tendencia a estar aplanados en sentido vertical. Un arenque es, por ejemplo, mucho más «alto» que ancho. Utiliza todo su cuerpo, aplanado en sentido vertical, como superficie natatoria, imprimiéndole un movimiento ondulante según va nadando en el agua. Es natural, por tanto, que cuando los antepasados de la acedia y del lenguado se posesionaron del fondo del mar, descansaran sobre un *lado* mejor que sobre el vientre, como lo hacían los antepasados de las mantas y las rayas. Sin embargo, esto originó un problema, ya que al estar uno de los ojos mirando siempre hacia abajo, hacia la arena, su utilidad era prácticamente nula. Este problema se resolvió durante la evolución, «moviendo» el ojo alrededor, desde el lado inferior hacia el borde superior.

Este proceso de desplazamiento volvemos a verlo representado durante el desarrollo de los peces óseos planos. Un pez plano joven comienza su vida nadando cerca de la superficie, siendo entonces simétrico y aplanado en sentido vertical, como un arenque. Luego el cráneo empieza a crecer de manera extraña, asimétrica, torcida; así, un ojo, por ejemplo el izquierdo, se mueve sobre la parte superior de la cabeza para terminar al otro lado. El pez joven se asienta entonces en el fondo del mar, con sus dos ojos mirando hacia arriba, una extraña visión picasiana. Incidentalmente, unas especies de peces planos se asientan sobre el lado derecho, otras sobre el izquierdo, y otras, sobre cualquiera de los dos lados.

El cráneo entero de un pez óseo plano retiene la evidencia torcida y distorsionada de sus orígenes. Su imperfección es un poderoso testimonio de su antigua historia, una historia de cambios paso a paso más que de un diseño deliberado. Ningún diseñador sensible hubiese creado tal monstruosidad, si hubiese tenido mano libre para crear un pez plano en una mesa de dibujo. Sospecho que la mayoría de los diseñadores con cierta sensibilidad hubiesen pensado en términos más de acuerdo con la manta. Pero la evolución no empieza nunca a partir de una mesa de dibujo vacía. Tiene que comenzar a partir de lo que hay. En el caso de los antepasados de las mantas eran los tiburones que nadaban libremente. Los tiburones en general no están aplanados en sentido lateral como lo están los peces óseos, como el arenque; si acaso, están ligeramente aplanados en sentido horizontal. Esto significa que cuando algunos tiburones primitivos se posesionaron del fondo del mar, hubo una progresión uniforme hacia la forma de la manta, representando cada forma intermedia una ligera mejora, dadas las condiciones del fondo del mar, sobre su predecesor ligeramente menos aplanado.

Por el contrario, cuando los antepasados de la acedia y del hipogloso se asentaron en el fondo del mar, al estar aplanados lateralmente en sentido vertical, como los arenques, les era mucho más fácil descansar sobre uno de sus lados que balancearse precariamente sobre el borde afilado de su vientre. Aun cuando su curso evolutivo estaba eventualmente destinado a conducirles hacia la complicada, y probablemente costosa distorsión que implica tener los dos ojos en un lado, aunque la forma de un pez plano como la manta podría haber sido también, *en última instancia*, el mejor diseño para un pez óseo, las formas intermedias potenciales que surgieron a lo largo de este trayecto evolutivo prosperaron aparentemente menos a corto plazo que las formas rivales que descansaban sobre su costado. Éstas fueron mucho más eficaces, a corto plazo, navegando por el

fondo. En el hiperespacio genético, hay una trayectoria uniforme que conecta los antepasados de los peces óseos con los peces planos que descansaban sobre su costado y tenían el cráneo torcido. No hay una trayectoria uniforme que los conecte con los peces planos que descansaban sobre su vientre. En teoría, esta trayectoria existe pero pasa a través de formas intermedias que no habrían tenido éxito —a corto plazo, que es lo que importa— si hubiesen llegado a existir.

El segundo ejemplo de progresión evolutiva que no llegó a producirse, a causa de las desventajas mostradas por las formas intermedias, aun cuando podría haber resultado superior en último extremo, si se hubiese producido, se refiere a la retina de nuestros ojos (y del resto de los vertebrados). Como cualquier otro nervio, el nervio óptico es un cable gordo, un haz de cables separados «aislados», en nuestro caso, unos tres millones. Cada uno de estos tres millones de cables conectan una célula de la retina con el cerebro. Podemos imaginarnoslos conectando un banco de tres millones de fotocélulas (en realidad, tres millones de estaciones de relés que recogen información de un número de fotocélulas aún mayor) con el ordenador destinado a procesar la información en el cerebro. Por este motivo, todos los cables de la retina se reúnen en un solo haz que constituye el nervio óptico de ese ojo.

Cualquier ingeniero asumiría que las fotocélulas apuntan hacia la luz, con sus cables dirigidos hacia atrás, hacia el cerebro. Se reiría de cualquier sugerencia que apuntase en sentido contrario, con los cables partiendo del lado *más cercano* a la luz. Y aun así, esto es exactamente lo que sucede en las retinas de todos los vertebrados. Cada fotocélula está, en efecto, enfocada hacia atrás, con su cable asomando por el lado más cercano a la luz. El cable tiene que recorrer la superficie de la retina, hasta un punto en el que se hunde a través de un agujero (la llamada «mancha ciega») para unirse con otros y formar el nervio óptico. Eso significa que la luz, en lugar de tener garantizado un paso sin restricciones hasta las fotocélulas, tiene que pasar a través de un bosque de conexiones, sufriendo, por lo menos, alguna atenuación y distorsión (en realidad, probablemente no demasiada, pero aun así, es la cuestión de *principio* lo que ofendería a cualquier ingeniero con una mente ordenada).

No conozco la explicación exacta de esta extraña situación. El período relevante de la evolución está muy lejano. Pero estoy dispuesto a apostar que tuvo algo que ver con la trayectoria, el trayecto a través de la vida real equivalente a la Tierra de las Bioformas, que tendría que haberse recorrido para volver la retina del derecho, a partir de cualquiera que fuese el órgano ancestral que precedió al ojo. Probablemente, esta trayectoria hipotética existe, pero cuando se realizó en los cuerpos de los animales intermedios, resultó tener desventajas, temporales, aunque esto es suficiente. Las formas intermedias podrían ver incluso peor que sus imperfectos antepasados, ¡y no sería un consuelo pensar que estaban construyendo unos ojos mejores para sus descendientes remotos! Lo que importa es la supervivencia aquí y ahora.

La «ley de Dollo» afirma que la evolución es irreversible. Esto se confunde, a menudo, con una gran cantidad de necedades idealistas sobre lo inevitable del progreso, unido con frecuencia a una estúpida ignorancia sobre la evolución «que viola el segundo principio de termodinámica» (aquellos que pertenecen al cincuenta por ciento de población culta que, de acuerdo con el novelista C. P. Snow, sabe lo que es el segundo principio, se darán cuenta de que no está más violado por la evolución que por el crecimiento de un niño). No hay razón por la que debiera invertirse la tendencia general de la evolución. Si existe una tendencia hacia las astas grandes durante un tiempo, es fácil que pueda haber una tendencia hacia las astas pequeñas en otro momento. La ley de Dollo es sólo una afirmación

sobre la improbabilidad estadística de seguir exactamente la misma trayectoria evolutiva dos veces (o, cualquier trayectoria *determinada*), en cualquier dirección. Un paso de una sola mutación puede invertirse con facilidad. Pero si hay numerosos pasos mutacionales, incluso en el caso de las bioformas con sus nueve pequeños genes, el espacio matemático de todas las trayectorias posibles es tan vasto que la probabilidad de que dos trayectorias lleguen a un mismo punto se torna extremadamente pequeña. Esto es aún más cierto en los animales reales con un elevado número de genes. No hay nada misterioso ni místico sobre la ley de Dollo, ni tampoco es algo que debamos salir a «probar» en la naturaleza. Simplemente, sigue las leyes elementales de las probabilidades.

Por la misma razón, es muy poco probable que el mismo trayecto evolutivo sea recorrido dos veces. Y parece también poco probable, por las mismas razones estadísticas, que dos líneas de evolución converjan exactamente en el mismo punto final, desde distintos puntos de partida.

Constituyen, por tanto, el testimonio más llamativo del poder de la selección natural, los numerosos ejemplos que encontramos en la vida real, en los que líneas de evolución independientes han convergido desde puntos de partida muy distintos, en lo que parece ser un mismo punto final. Cuando los examinamos detenidamente, encontramos —sería preocupante si no fuera así— que la convergencia no es total. Las diferentes líneas de evolución dejan ver sus orígenes independientes en numerosos detalles. Por ejemplo, los ojos de los pulpos son muy parecidos a los nuestros, pero los cables que salen de sus fotocélulas no apuntan hacia la luz, como los nuestros. A este respecto, están diseñados con una mayor «sensibilidad». Han llegado a un punto final similar, desde un punto de partida muy distinto. Y el hecho se revela en detalles como éste.

Este tipo de semejanzas que convergen superficialmente son sorprendentes, por lo que dedicaré el resto del capítulo a describir algunas de ellas. Constituyen la demostración más impresionante del poder que tiene la selección natural para reunir buenos diseños. Y, aun así, el hecho de que diseños similares sean también superficialmente diferentes, testimonia la independencia de sus orígenes e historia evolutiva. El razonamiento básico es que, si un diseño es lo suficientemente bueno para evolucionar una vez, el mismo *principio* sería suficientemente bueno para evolucionar dos veces, desde distintos puntos de partida, en diferentes partes del reino animal. En ningún lugar está mejor ilustrado que en el caso que utilizamos para nuestra ilustración básica de un buen diseño: la ecolocalización.

Casi todo lo que sabemos sobre ecolocalización procede de los murciélagos (y de los instrumentos humanos), pero también sucede en otros animales que no guardan ninguna relación entre sí. La utilizan, por lo menos, dos grupos lejanos de pájaros, y ha alcanzado un nivel muy elevado de sofisticación en los delfines y las ballenas. Por otra parte, fue «descubierto» casi con certeza por dos grupos de murciélagos diferentes. Los pájaros que la utilizan son los guácharos de Sudamérica, y los «cave-swiftlets» del Extremo Oriente, los mismos cuyos nidos se utilizan para hacer la sopa de nidos de pájaro. Ambos tipos de pájaros construyen sus nidos en cuevas profundas, donde penetra poca o ninguna luz, y ambos navegan a través de la oscuridad más absoluta, utilizando ecos de sus propios sonidos vocales. En ambos casos, los sonidos son audibles para los humanos, no son ultrasonidos como los sonidos más especializados de los murciélagos. Por supuesto, ninguna de estas especies de pájaros parece haber desarrollado la ecolocalización hasta el extremo de sofisticación que lo han hecho los murciélagos. Sus sonidos no son de FM, ni tampoco parecen adecuados para medir la velocidad mediante el efecto Doppler. Probablemente, como el *Rousettus*, miden el tiempo que dura el intervalo silencioso entre cada sonido y su eco.

En este caso, podemos estar absolutamente seguros de que las dos especies de pájaros han inventado la ecolocalización independientemente de los murciélagos, e independientemente entre sí. La línea de razonamiento es del tipo que los evolucionistas utilizan con frecuencia. Contemplemos los miles de especies de pájaros, y observemos que la inmensa mayoría de ellos no utilizan ecolocalización. Sólo lo hacen dos pequeños géneros aislados, que lo único que tienen en común es el hecho de que ambos viven en cuevas. Aunque creamos que los pájaros y los murciélagos han tenido un antepasado común, si seguimos sus descendencias lejos en el pasado, este antepasado común sería también el antepasado común de todos los mamíferos (incluyéndonos nosotros mismos) y de todos los pájaros. La inmensa mayoría de los mamíferos y de los pájaros no utilizan la ecolocalización, y es muy probable que su antepasado común tampoco lo hiciera (tampoco volaba, que es otra de las tecnologías que ha evolucionado independientemente varias veces). De aquí se deduce que la tecnología de la ecolocalización ha sido desarrollada por separado en murciélagos y pájaros, de la misma forma que fue desarrollada independientemente por científicos americanos, ingleses y alemanes. El mismo tipo de razonamiento, a menor escala, nos conduce a la conclusión de que el antepasado común del guácharo y del «cave-swiftlet» tampoco utilizaba la ecolocalización, y que estos dos géneros han desarrollado la misma tecnología por separado.

Entre los mamíferos, los murciélagos no son el único grupo que ha desarrollado por separado la tecnología de la ecolocalización. Varias clases distintas de mamíferos, por ejemplo, las musarañas, ratas y focas, utilizan los ecos en cierta medida, como lo hacen las personas ciegas, pero los únicos animales que rivalizan con los murciélagos en sofisticación son las ballenas. Éstas se dividen en dos grandes grupos, ballenas con dientes y ballenas con ~~ballenas~~. Ambas, por supuesto, son mamíferos descendientes de antepasados que vivían en tierra firme, y puede que «hayan inventado» la forma de vida «estilo ballena» independientemente, a partir de diferentes antepasados terrestres. Las ballenas con dientes incluyen los cachalotes, las orcas y las diferentes especies de delfines, todos los cuales cazan presas relativamente grandes, como peces y calamares, que cogen con sus mandíbulas. En algunas de estas ballenas con dientes, entre las cuales sólo han sido estudiados a fondo los delfines, han evolucionado equipos sofisticados de sonar en sus cerebros.

Los delfines emiten encadenamientos rápidos de sonidos de tonos agudos, algunos audibles para nosotros, y otros ultrasónicos. Es probable que el «huevo», la masa prominente situada en su frente, que se parece —agradable coincidencia— a la extraña cúpula del radar que sobresale en los aviones de vigilancia Nimrod para «prevención de ataques» (*advance-warning*), tenga algo que ver con la emisión de las señales del sonar, aunque no se comprende cómo funciona en realidad. Como en el caso de los murciélagos, tiene un ritmo de sonidos «lento» de crucero, que se eleva hasta constituir un zumbido de alta frecuencia (400 sonidos por segundo) cuando el animal se acerca a una presa. Aun así el ritmo «lento» de crucero es bastante rápido. Los delfines de río que viven en aguas pantanosas son probablemente los más hábiles en el uso de la ecolocalización, pero algunos delfines de mar abierto han demostrado en las pruebas que son también bastante eficaces. Un delfín de los descritos con nariz en forma de botella, del Atlántico, puede discriminar círculos, cuadrados y triángulos (todos con una misma área estandarizada), utilizando su sonar. Puede decir qué objeto está más cerca, con una diferencia de 3 centímetros, a una distancia media de 6 metros. Puede detectar una esfera de acero del tamaño de la mitad de una pelota de golf, a una distancia de 55 metros. Este logro no es tan bueno como la *visión*

humana con buena luz, pero es probablemente mejor que la visión humana a la luz de la luna.

Se ha hecho la intrigante sugerencia de que los delfines tendrían, si decidiesen utilizarlo, un medio potencial de comunicarse «imágenes mentales» sin ningún esfuerzo. Todo lo que tendrían que hacer es utilizar sus versátiles voces para imitar el patrón de sonido que producirían los ecos de un objeto determinado. De esta manera, podrían transmitirse imágenes mentales de dichos objetos. No hay ninguna evidencia que confirme esta deliciosa sugerencia. Teóricamente, los murciélagos podrían hacer lo mismo, pero los delfines parecen los candidatos más probables porque, en general, son más sociables. Son también probablemente más «listos», pero ésta no es necesariamente una consideración importante. Los instrumentos necesarios para comunicar imágenes de ecos no son más sofisticados que los que tienen ya los murciélagos y los delfines para la ecolocalización. Y parece que podría existir un espectro continuo gradual, y fácil, entre la utilización de la voz para producir ecos y la utilización para imitarlos.

Así pues, por lo menos dos grupos de murciélagos, dos grupos de pájaros, las ballenas dentadas, y probablemente otras clases de mamíferos, en menor extensión, han convergido independientemente en un momento dado, en la tecnología del sonar, durante los últimos cientos de millones de años. No tenemos forma de saber si esta tecnología evolucionó también por separado en algún otro animal ahora extinguido, ¿quizá los pterodáctilos?

No se ha encontrado hasta ahora ningún insecto ni ningún pez que utilicen el sonar, pero dos grupos bastante distintos de peces, uno en Sudamérica y otro en África, han desarrollado un sistema de navegación bastante similar, que parece ser casi igual de sofisticado y que puede contemplarse como una solución relacionada, aunque distinta, con un mismo problema. Son los llamados peces débilmente eléctricos. La palabra «débil» es para diferenciarlos de los peces fuertemente eléctricos, que utilizan el campo eléctrico, no para navegar, sino para aturdir a su presa. Incidentalmente, la técnica de aturdimiento ha sido inventada independientemente por varios grupos de peces que no tienen relación entre sí, por ejemplo, las «anguilas» eléctricas (que no son verdaderas anguilas, pero cuya forma es convergente con la de las anguilas verdaderas), y las rayas eléctricas.

Los peces débilmente eléctricos de Sudamérica y África guardan muy poca relación entre sí, pero ambos viven en el mismo tipo de aguas en sus respectivos continentes, demasiado turbias para que la visión sea eficaz. El principio físico que explotan —los campos eléctricos en el agua— es aún más ajeno a nuestro conocimiento que el de los murciélagos y los delfines. Tenemos por lo menos una idea subjetiva de lo que es un eco, pero prácticamente no la tenemos de lo que podría ser percibir un campo eléctrico. No conocíamos ni siquiera la existencia de la electricidad hasta hace un par de siglos. No podemos, como seres humanos, sentir simpatía por los peces eléctricos, pero podemos, como físicos, comprenderlos.

Es fácil ver en el plato cómo están ordenados los músculos laterales de cada pez, formando una hilera de segmentos, una *batería* de unidades musculares. En la mayoría de los peces, se contraen sucesivamente, proyectando el cuerpo en forma de ondas sinuosas y empujándolo hacia adelante. Los peces eléctricos, tanto los débiles como los fuertes, han llegado a transformarse en una batería eléctrica. Cada segmento («célula») de la batería genera un voltaje. Los voltajes están conectados en serie a lo largo de toda la longitud del pez, de manera que, en un pez fuertemente eléctrico como la anguila eléctrica, la batería completa genera una corriente de 1 amperio y 650 voltios. Esto tiene la suficiente potencia como para poner fuera de combate a un hombre. Los peces débilmente eléctricos no

necesitan voltajes ni intensidades de corriente tan elevados para sus fines, que consisten, puramente, en recoger información.

El principio de la electrolocalización, como se le ha denominado, se comprende bastante bien a nivel de la física, aunque no, por supuesto, a nivel de lo que se sentiría al ser como un pez eléctrico. La descripción siguiente se aplica de igual forma a las dos variedades: la convergencia es así de profunda. La corriente eléctrica fluye hacia el agua, desde la mitad anterior del pez, formando líneas que se curvan hacia atrás y vuelven a entrar por el extremo de la cola del pez. No hay realmente «líneas» discontinuas sino un «campo» continuo, un envoltorio invisible eléctrico que rodea el cuerpo del pez. Sin embargo, para la visualización humana es más fácil pensar en términos de un conjunto de líneas curvas, abandonando el pez a través de una serie de agujeros de salida espaciados a lo largo de la mitad anterior del cuerpo, curvándose todas alrededor en el agua y hundiéndose de nuevo en el pez a través del extremo de su cola. El pez es el equivalente de un diminuto voltímetro que controla el voltaje de cada «puerta». Si se suspende el pez en el agua, sin ningún obstáculo alrededor, las líneas serán perfectamente curvas. Los diminutos voltímetros de cada puerta registrarán los voltajes como normales. Pero si aparece algún obstáculo en la vecindad, digamos, una roca o un trozo de alimento, las líneas de corriente que tropiecen con el obstáculo cambiarán. Esto modificará el voltaje de aquellas puertas cuya línea de corriente resulte afectada, y el hecho será registrado por los voltímetros apropiados. Así pues, en teoría, un computador que comparase el patrón de voltajes registrado por todos los voltímetros de los agujeros de salida, podría determinar el patrón de los obstáculos alrededor del pez. Esto es, según parece, lo que hace el cerebro del pez. Una vez más, no significa que los peces sean matemáticos inteligentes. Tienen un aparato que resuelve las ecuaciones necesarias, de la misma manera que nuestro cerebro resuelve inconscientemente las ecuaciones cada vez que atajamos una pelota.

Es muy importante que el cuerpo del pez se mantenga rígido. El computador cerebral no podría hacer frente a la distorsión adicional que se introduciría, si el cuerpo del pez se doblase y retorciere como el de un pez ordinario. Los peces eléctricos han acertado, por lo menos dos veces aisladas, con este ingenioso método de navegación, pero han tenido que pagar un precio: renunciar a la forma normal de nadar de los peces, más eficiente, que proyecta todo el cuerpo en forma de ondas serpenteantes. Han resuelto el problema manteniendo el cuerpo rígido como un atizador, e incorporando una larga aleta única, situada a todo lo largo del cuerpo. De esta manera, en lugar de proyectarse el cuerpo en forma de ondas, esta aleta lo hace de forma longitudinal. La progresión del pez en el agua es bastante lenta, pero se mueve y, aparentemente, el sacrificio de una mayor velocidad merece la pena: las mejoras en la navegación parecen superar esta pérdida de velocidad. De manera fascinante, los peces eléctricos de Sudamérica han encontrado casi la misma solución que los africanos, pero no con la misma eficiencia. La diferencia es reveladora. Ambos grupos han desarrollado una larga aleta única, que recorre el cuerpo en toda su longitud, pero en el pez africano ésta corre a lo largo del lomo mientras que en el pez sudamericano lo hace a lo largo del vientre. Esta clase de diferencias en los detalles es muy característica de la evolución convergente, como hemos visto. Es también característica de los diseños convergentes de los ingenieros humanos.

Aunque la mayoría de los peces débilmente eléctricos, tanto en el grupo africano como en el sudamericano, producen sus descargas eléctricas en forma de pulsos discontinuos, y se denominan especies «pulsátiles», una minoría en ambos grupos lo hacen de manera diferente y se denominan especies «ondulan-

tes». No trataré esta diferencia con mayor profundidad. Lo que resulta interesante en este capítulo es que la división pulso/onda ha evolucionado dos veces, de forma independiente, en grupos del Nuevo Mundo y del Viejo Mundo que no guardan ninguna relación entre sí.

Uno de los ejemplos más llamativos de evolución convergente que conozco está relacionado con las denominadas cigarras de aparición periódica. Antes de exponer este caso de convergencia, debo intercalar alguna información de fondo. Muchos insectos muestran una separación bastante rígida entre un estadio juvenil en el que se alimentan, y en el que pasan la mayor parte de sus vidas, y un estadio adulto relativamente breve de reproducción. Las moscas de mayo, por ejemplo, pasan la mayor parte de sus vidas como larvas, alimentándose debajo del agua, luego salen al aire durante un solo día, en el cual comprimen toda su vida de adultos. Podemos imaginarnos al adulto como la semilla efímera alada de una planta similar al sicomoro, y a la larva como la planta principal, radicando la diferencia en que el sicomoro fabrica muchas semillas y las deja caer a lo largo de muchos años, mientras que una larva de mosca de mayo da origen a un solo adulto justo al final de su propia vida. De cualquier forma, las cigarras de aparición periódica han llevado el curso de la mosca de mayo a su extremo. Los adultos viven unas pocas semanas, pero el estadio «juvenil» (técnicamente, ninfas más que larvas) dura 13 años (en algunas variedades) o 17 años (en otras). Los adultos emergen casi al mismo tiempo, después de haber estado 13 (o 17) años enclaustrados bajo tierra. Las plagas de cigarras, que tienen lugar en un área determinada con 13 (o 17) años exactos de diferencia, son erupciones espectaculares que han conducido a que se las denomine incorrectamente «langostas» (*locusts*) en la lengua vernácula americana. Las variedades se conocen como cigarras de 13 años y cigarras de 17 años.

Ahora bien, aquí está el hecho realmente extraordinario. Resulta que no hay sólo una especie de cigarra de 13 años y otra de 17 años. Hay tres especies, y cada una de ellas tiene una variedad o raza de 17 años y otra de 13 años. Se ha llegado por separado a la división en una variedad de 13 y otra de 17 años, por lo menos tres veces. ¿Por qué? No lo sabemos. La única sugerencia que ha aportado alguien sobre lo que hay de especial en el 13 y en el 17, en contraposición con el 14, 15 y 16, es que son números primos. Un número primo es un número que no es divisible por ningún otro. La idea es que una especie de animales que irrumpe regularmente en forma de plagas se beneficia «abrumando» y haciendo morir de hambre alternativamente a sus enemigos, depredadores y parásitos. Si estas plagas están cronometradas para tener lugar en ciclos que duran un número primo de años, dificultan a sus enemigos la sincronización de sus propios ciclos vitales. Si las cigarras irrumpiesen cada 14 años, por ejemplo, esto podría ser utilizado por una especie de parásitos con un ciclo vital de siete años. Esta es una idea extravagante, pero no lo es más que el propio fenómeno. No sabemos realmente qué hay de especial en los años 13 y 17. Lo que importa aquí, para nuestros fines, es que debe de haber *algo* especial sobre estos números, para que tres especies distintas de cigarras hayan convergido independientemente en ellos.

Los ejemplos de convergencia a gran escala tienen lugar cuando dos o más continentes han estado aislados uno del otro durante un largo período de tiempo, y hay animales que, sin tener ninguna relación, adoptan un rango de «ocupaciones» paralelo en cada uno de ellos. Por «ocupaciones» quiero significar formas de vida, como hacer túneles para los gusanos, cavar para las hormigas, cazar grandes animales herbívoros, comer hojas en lo alto de los árboles. Un buen ejemplo es la evolución convergente de «ocupaciones» en los mamíferos de los continentes de Sudamérica, Australia y el Viejo Mundo.

Estos continentes no estuvieron siempre separados. Debido a que nuestras vidas se miden en décadas, e incluso nuestras civilizaciones y dinastías se miden sólo en siglos, estamos acostumbrados a pensar en el mapa del mundo, es decir, los límites de los continentes, como si fuesen fijos. La teoría de que los continentes se separaron moviéndose a la deriva fue propuesta hace tiempo por el geofísico alemán Alfred Wegener, aunque la mayoría de la gente se rió de él hasta pasada la segunda guerra mundial. El hecho admitido de que Sudamérica y África parecen las piezas separadas de un rompecabezas fue asumido como una divertida coincidencia. En una de las más rápidas y completas revoluciones que ha conocido la ciencia, la teoría anteriormente controvertida de la «deriva continental» llegó a ser universalmente aceptada, con el nombre de placas tectónicas. La evidencia de que los continentes han ido a la deriva, de que, por ejemplo, Sudamérica se desgajó realmente de África, es ahora literalmente aplastante, pero éste no es un libro de geología. Para nosotros, lo importante es que la escala de tiempo durante la cual los continentes fueron a la deriva es la misma escala lenta de tiempo en la que han evolucionado las descendencias de los animales, y que no podemos ignorar la deriva continental si queremos comprender los patrones de la evolución animal en esos continentes.

Por consiguiente, hasta hace cerca de unos 100 millones de años, Sudamérica estaba unida a África por el este y a la Antártida por el sur. La Antártida estaba unida a Australia, y la India estaba unida a África a través de Madagascar. Había, de hecho, un inmenso continente en el sur, que llamamos Pangea, formado por lo que es ahora Sudamérica, África, Madagascar, India, Antártida y Australia, todos reunidos en uno. Había también un enorme continente único en el norte, llamado Laurasia, formado por lo que es ahora América del Norte, Groenlandia, Europa y Asia (excepto la India). Norteamérica no estaba unida a Sudamérica. Hace alrededor de unos 100 millones de años hubo una gran rotura de estas masas de tierra, y los continentes se fueron moviendo lentamente desde entonces hasta sus posiciones actuales (y continuarán, por supuesto, haciéndolo en el futuro). África se unió con Asia a través de Arabia y entró a formar parte del inmenso continente del que ahora hablamos como el Viejo Mundo. Norteamérica se alejó de Europa a la deriva, la Antártida se alejó hacia el sur, hasta su localización helada actual. La India se desprendió de África y partió a través de lo que ahora se llama el océano Índico, para estrellarse con el sur de Asia y producir la elevación de los Himalayas. Australia se alejó de la Antártida hacia el mar abierto para transformarse en una isla-continente, a kilómetros de distancia de cualquier otra parte.

La fragmentación del gran continente de Pangea en el sur comenzó durante la era de los dinosaurios. Cuando Sudamérica y Australia se desprendieron del resto del mundo para empezar sus largos periodos de aislamiento, cada uno llevaba su propia carga de dinosaurios, y también de algunos animales menos conocidos, que llegarían a ser los antepasados de los mamíferos modernos. Cuando, mucho más adelante, por razones que no comprendemos y que están sujetas a una especulación muy provechosa, los dinosaurios (con excepción del grupo que llamamos ahora pájaros) se extinguieron, ocurrió en todo el mundo. Este hecho dejó un vacío en las «ocupaciones» abierto a los animales terrestres. El vacío fue llenado en su mayor parte por los mamíferos, a lo largo de un período de millones de años de evolución. Aquí, lo interesante para nosotros es que fueron tres vacíos independientes, llenados por separado por mamíferos en Australia, Sudamérica y el Viejo Mundo.

Los mamíferos primitivos que estaban presentes en las tres áreas cuando los dinosaurios dejaron más o menos simultáneamente vacías sus ocupaciones, eran

bastante pequeños e insignificantes, probablemente de vida nocturna, eclipsados y dominados por los dinosaurios. Podían haber evolucionado en direcciones radicalmente distintas en las tres áreas. Y, en cierta medida, es lo que sucedió. No hay nada en el Viejo Mundo que se parezca al perezoso gigante de las tierras de Sudamérica, hoy extinguido. La enorme variedad de mamíferos sudamericanos incluía un conejillo de indias gigante, hoy extinguido, del tamaño de un rinoceronte actual y que, sin embargo, era un roedor (tengo que decir un rinoceronte «actual» porque la fauna del Viejo Mundo incluía un rinoceronte gigante del tamaño de una casa de dos pisos). Pero aunque los continentes separados produjeron cada uno sus mamíferos únicos, el patrón general de la evolución en las tres áreas fue el mismo. En cada una de ellas los mamíferos presentes al comienzo se extendieron durante la evolución y produjeron un especialista para cada ocupación que, en muchos casos, llegaron a mostrar una semejanza extraordinaria con los especialistas correspondientes de las otras dos áreas. Cada ocupación, la de hacer túneles, la de cazar grandes animales, la de pastar en las planicies, etc., fue objeto de una evolución convergente e independiente en dos o tres de los continentes separados. Además de estos tres grandes sitios, las islas más pequeñas, como Madagascar, tienen también sus propias historias evolutivas independientes y paralelas propias, de las que no me ocuparé ahora.

Dejando de lado los extraños mamíferos que ponen huevos en Australia —el ornitorrinco con pico de pato y el oso hormiguero espinoso— los mamíferos modernos pertenecen a uno de dos grandes grupos. Los marsupiales (cuyas crías nacen muy pequeñas y son mantenidas en una bolsa) y los placentarios (el resto). Los marsupiales llegaron a dominar la historia australiana y los placentarios el Viejo Mundo, mientras que los dos grupos jugaron papeles importantes uno al lado del otro en Sudamérica. La historia sudamericana se complica por el hecho de haber estado sujeta a olas de invasiones de los mamíferos procedentes del norte de América.

Después de situar la escena, podemos contemplar ahora algunas de las ocupaciones y de las convergencias. Una ocupación importante estaba relacionada con el aprovechamiento de las grandes tierras verdes, conocidas en sus diversas formas como la pradera, la pampa, la sabana, etc. Entre los que practicaban esta ocupación estaban los caballos (las principales especies africanas se llaman cebras, y las del desierto, asnos), y los animales de pasto, como el bisonte norteamericano, cazado en la actualidad hasta casi el borde de su extinción. Los herbívoros tienen intestinos normalmente muy largos, que contienen varios tipos de bacterias fermentadoras, ya que la hierba es un alimento pobre y necesita mucha digestión. En lugar de distribuir su alimentación en comidas separadas, comen de una forma más o menos continua. A través de ellos, fluyen como un río enormes cantidades de plantas, durante todo el día. Los animales suelen ser muy grandes, y viajan en grandes rebaños. Cada uno de estos grandes herbívoros es una montaña de apreciado alimento para cualquier depredador que lo pueda explotar. Como consecuencia de esto existe, como veremos, una ocupación dedicada a la difícil tarea de capturarlos y matarlos. Son los depredadores. Cuando digo «una» ocupación, quiero decir realmente la totalidad de las muchas «subocupaciones»: los leones, leopardos, leopardos indios, perros salvajes y las hienas cazan todos de una forma especializada. Esta misma clase de subdivisiones se encuentra en los herbívoros, y en todas las demás «ocupaciones».

Los herbívoros tienen unos sentidos muy agudizados, con los que están continuamente en estado de alerta frente a los depredadores, y son capaces de correr muy rápido para escapar de ellos. Con esta finalidad, suelen tener piernas largas, en forma de huso, y corren normalmente sobre las puntas de sus dedos,

que se han vuelto alargadas y fuertes a lo largo de la evolución. Las uñas de estos dedos especializados son largas y duras, y se denominan pezuñas. Las vacas tienen dos dedos agrandados en la extremidad de cada pata: la familiar pezuña «hendida». Los caballos muestran lo mismo en gran medida, excepto que, probablemente por razones históricas accidentales, sólo corren sobre un dedo en lugar de dos. Éste se deriva de lo que era originariamente el dedo medio. Los otros dedos han desaparecido casi por completo a lo largo de la evolución, aunque ocasionalmente vuelvan a aparecer en casos de extraños «atavismos».

Sudamérica, como hemos visto, estaba aislada durante el período en el que los caballos y las reses de ganado evolucionaban en otras partes del mundo. Pero Sudamérica tiene sus propias tierras de pastos, y allí se produjo la evolución de sus propios grupos de grandes herbívoros, para explotar estos recursos. Hubo cantidades masivas de *leviatanes* parecidos a los rinocerontes pero sin conexión con ellos. Los cráneos de algunos de los primeros herbívoros sudamericanos sugieren que «inventaron» la trompa independientemente de los auténticos elefantes. Algunos parecían camellos, otros no se asemejaban a nada de lo que hay sobre la tierra (hoy día), o eran como extrañas quimeras de animales actuales. Los litopternos eran increíblemente similares a los caballos, en sus patas, y aun así no tenían absolutamente ninguna relación con ellos. Esta semejanza superficial engañó a un experto argentino del siglo XIX, quien pensó, con un orgullo nacional disculpable, que eran los antepasados de todos los caballos del resto del mundo. De hecho, su parecido con los caballos era superficial y convergente. La vida en las tierras de pastos es casi igual alrededor de todo el mundo, y las mismas cualidades evolucionaron en los caballos y en los litopternos para enfrentarse con los problemas de estas tierras. Los litopternos, como los caballos, perdieron todos sus dedos, excepto el dedo medio de cada pata, que se agrandó como su articulación inferior y desarrollaron pezuñas. La pata de un litopterno es prácticamente indistinguible de la pata de un caballo y, a pesar de ello, los dos animales están sólo lejanamente relacionados.

En Australia los grandes herbívoros y los animales de pasto son muy diferentes. Los canguros tienen la misma necesidad de moverse rápidamente, pero lo hacen de una manera distinta. En lugar de desarrollar el galope a cuatro patas, hasta el grado tan elevado que lo hicieron los caballos (y, presumiblemente, los litopternos), perfeccionaron un tipo de marcha distinta: saltando sobre dos piernas con una gran cola que les sirve de balance. No merece la pena discutir cuál de estas dos marchas es «mejor». Cada una puede ser muy eficaz, si el cuerpo evoluciona de forma que la desarrolle en su totalidad. Los caballos y litopternos desarrollaron el galope a cuatro patas, y terminaron con unas patas casi idénticas. Los canguros desarrollaron el salto con dos patas, y terminaron con dos grandes patas traseras, que son únicas (por lo menos, desde los dinosaurios), y la cola. Los canguros y los caballos llegaron a diferentes puntos finales en el «espacio animal», probablemente a causa de alguna diferencia accidental en sus puntos de partida.

Volviendo a los devoradores de carne de los que huían los grandes herbívoros, encontramos algunas convergencias más fascinantes. En el Viejo Mundo estamos familiarizados con los grandes cazadores, como los lobos, perros, hienas, y los grandes felinos: leones, tigres, leopardos y leopardos indios. Un gran felino que se ha extinguido recientemente es el tigre de dientes de sable, denominado así por sus colosales dientes caninos, que se proyectaban hacia abajo desde la mandíbula superior, y cuya presencia debe de haber ocasionado una experiencia terrorífica. Hasta hace poco tiempo, no había verdaderos felinos o perros en Australia o en el Nuevo Mundo (los pumas y los jaguares han evolucionado, en

los últimos tiempos, a partir de los felinos del Viejo Continente). Pero en estos dos continentes había marsupiales que eran equivalentes. En Australia, el yabí, o «lobo» marsupial (a menudo llamado lobo de Tasmania porque sobrevivió allí algo más de tiempo que en el continente australiano) fue situado trágicamente al borde de su extinción en un espacio de tiempo que todavía puede recordarse, sacrificados en enormes cantidades como una «plaga» o como «deporte» (hay una ligera esperanza de que pueda sobrevivir aún en algunas áreas remotas de Tasmania, áreas que se ven ellas mismas ahora amenazadas por la destrucción en interés de facilitar «empleo» a las personas). No hay que confundirlo con el dingo, que, dicho sea de paso, es un auténtico perro introducido en Australia más recientemente por el hombre (aborigen). Una película hecha en los años treinta sobre el último lobo marsupial conocido, paseando sin descanso por su jaula solitaria en el zoo, muestra un extraño animal parecido a un perro, con una naturaleza marsupial revelada únicamente por la forma distinta de sostener la pelvis y las patas traseras, posiblemente relacionada con el acomodo de la bolsa. Para cualquier amante de los perros, la contemplación de este enfoque alternativo al diseño de un perro, este viajero evolutivo a lo largo de un camino paralelo separado por 100 millones de años, este perro, en parte familiar, y en parte un perro mundano completamente extraño, es una experiencia conmovedora. Puede que fuesen una plaga para los seres humanos, pero éstos fueron una plaga mayor para ellos, ya que ahora no hay lobos marsupiales vivos y sí un considerable excedente de seres humanos.

Tampoco hubo, en Sudamérica, verdaderos perros ni felinos durante el largo período de aislamiento que estamos tratando, pero hubo sus equivalentes marsupiales, como en Australia. Probablemente el más espectacular fuera el *Thylacynus*, que se parecía al recién extinguido «tigre» de dientes de sable del Viejo Mundo, sólo que aumentado, si se entiende lo que quiero decir. Su boca abierta en forma de daga era aún más ancha, e imagino que más terrorífica. El nombre recuerda su afinidad superficial con el tigre de dientes de sable (*Smilodon*) y el lobo de Tasmania (*Thylacinus*), pero, en términos de antigüedad, es más remoto que los dos. Está ligeramente más cerca del *thylacine*, ya que ambos son marsupiales, pero ambos diseños han evolucionado por separado, a partir de grandes carnívoros en continentes distintos; con independencia entre sí y con respecto a los carnívoros placentarios, los verdaderos felinos y perros del Viejo Mundo.

Australia, Sudamérica y el Viejo Mundo ofrecen otros numerosos ejemplos de evolución múltiple convergente. Australia tiene un «topo» marsupial que, al menos superficialmente, casi no se distingue de los topos familiares de otros continentes, excepto porque tiene una bolsa, vive de la misma manera que ellos y tiene las mismas patas delanteras enormemente fortalecidas para cavar. Hay un ratón marsupial en Australia, aunque en este caso el parecido no sea tan cercano, ni viva de la misma manera. Comer hormigas (donde la palabra «hormigas» se considera por conveniencia que incluye a las termitas, otra convergencia, como veremos) es una «ocupación» desempeñada por gran variedad de mamíferos convergentes. Los comedores de hormigas pueden subdividirse según vivan en madrigueras, trepen a los árboles o corroteen por el suelo. En Australia, como podríamos esperar, hay un comedor de hormigas marsupial. El llamado *Myrmecobius* tiene una trompa larga y delgada para hurgar en los hormigueros, y una lengua larga y pegajosa con la que recoge sus presas. Es un comedor de hormigas que vive en el suelo. Australia tiene también un comedor de hormigas que vive en madrigueras, el oso hormiguero espinoso. No es un marsupial, sino un miembro del grupo de mamíferos que ponen huevos, los monotremas, tan alejados de nosotros que los marsupiales, en comparación, serían nuestros

primos carnales. El oso hormiguero espinoso tiene también una trompa larga y afilada, pero sus espinas le dan un parecido superficial mayor con un erizo que con un comedor de hormigas típico.

Sudamérica podría haber tenido un comedor de hormigas marsupial, en paralelo con su «tigre» marsupial de dientes de sable, pero el oficio de comedor de hormigas fue desempeñado, en principio, por los mamíferos placentarios. El comedor de hormigas más grande hoy en día es el *mirmecófago* (que, simplemente, significa comedor de hormigas, en griego), un gran comedor de hormigas que vive en el suelo, en Sudamérica y probablemente el mayor especialista del mundo en esta tarea. Como el marsupial australiano *Myrmecobius*, tiene una trompa, extremadamente larga y afilada en este caso, y una lengua larga y pegajosa. Sudamérica tiene también un pequeño comedor de hormigas que trepa a los árboles, un primo cercano del *mirmecófago* que parece una miniatura de una versión menos extrema de éste, y una tercera forma intermedia. Aunque son mamíferos placentarios, estos comedores de hormigas están muy lejos de cualquier animal placentario del Viejo Mundo. Pertenecen a una familia sudamericana única, que incluye también a los armadillos y los perezosos. Esta antigua familia placentaria coexistió con los marsupiales desde los primeros días del aislamiento del continente.

Los comedores de hormigas del Viejo Mundo incluyen varias especies de pangolines en África y Asia, que varían desde las formas que trepan a los árboles hasta las formas que excavan la tierra, y que parecen todos fircones con trompas puntiagudas. También se encuentra en África el extraño oso hormiguero, que está parcialmente especializado en excavar. Una característica propia de todos los comedores de hormigas, sean marsupiales, monotremas o placentarios, es que tienen un ritmo metabólico extremadamente bajo. El ritmo metabólico es el ritmo con el que arde su «fuego» químico, lo que se mide por su temperatura sanguínea. Existe la tendencia de que el ritmo metabólico de los mamíferos depende, en general, de su tamaño corporal. Los animales más pequeños tienen un ritmo metabólico más elevado, al igual que los motores de los coches pequeños giran con mayor ritmo que los de los coches grandes. Pero algunos animales tienen ritmos metabólicos muy elevados para su tamaño, y los comedores de hormigas, sean cuales fueren sus antepasados y afinidades, muestran unos ritmos metabólicos muy bajos para su tamaño. El motivo no está claro, pero es tan sorprendentemente convergente entre animales que no tienen nada en común, excepto su hábito de comer hormigas, que es casi seguro algo relacionado con este hábito.

Como hemos visto, las «hormigas» que devoran los comedores de hormigas no suelen ser verdaderas hormigas, sino termitas. Las termitas se conocen como «hormigas blancas», pero están más relacionadas con las cucarachas que con las verdaderas hormigas, que, a su vez, están relacionadas con las abejas y las avispas. Las termitas se parecen a las hormigas porque han adoptado los mismos hábitos de una forma convergente. La misma gama de hábitos, debería decir, porque hay muchas ramificaciones diferentes en la ocupación hormiga/termita, y tanto las hormigas como las termitas han adoptado muchas de ellas. Y como sucede tan a menudo con la evolución convergente, las diferencias son tan reveladoras como las semejanzas.

Tanto las hormigas como las termitas viven en grandes colonias, formadas principalmente por obreras estériles, sin alas, dedicadas a la producción eficaz de castas aladas reproductoras, que marchan volando para fundar nuevas colonias. Una diferencia interesante es que las hormigas obreras son todas hembras estériles, mientras que en las termitas hay machos y hembras estériles. Am-

bos tipos de colonias, hormigas y termitas, tienen una (o varias) «reinas», a veces (tanto en las hormigas como en las termitas) grotescamente grandes. En ambos grupos, las obreras pueden incluir castas de especialistas, tales como los soldados. Éstos son máquinas tan especializadas para la lucha (especialmente sus enormes mandíbulas en el caso de las hormigas, y su «torreta de tiro» para la guerra química, en el caso de las termitas), que son incapaces de alimentarse por sí mismos y tienen que ser alimentados por las obreras que no son soldados. Determinadas especies de hormigas muestran un gran paralelismo con determinadas especies de termitas. Por ejemplo, el hábito de cultivar hongos se ha originado de forma independiente en hormigas (en el Nuevo Mundo) y termitas (en África). Las hormigas (o termitas) se alimentan de un material procedente de plantas que no digieren ellas mismas sino que lo transforman en un compuesto sobre el que cultivan los hongos. Lo que comen son los hongos. Éstos, en ambos casos, no crecen en ningún lugar más que en los nidos de las hormigas o de las termitas. El hábito de cultivar hongos también ha sido descubierto independiente y convergentemente (más de una vez) por varias especies de escarabajos.

También hay convergencias interesantes entre las hormigas. Aunque la mayoría de sus colonias viven una existencia asentadas en un nido fijo, hay una variedad que se gana la vida vagando como enormes ejércitos de saqueo. Se denomina hábito legionario. Todas las hormigas caminan para buscar su alimento, pero la mayoría de las especies vuelven a un nido fijo con su botín, mientras la reina y las crías se quedan allí. La clave del hábito legionario errante, por otra parte, radica en que los ejércitos llevan a las crías y a la reina con ellos. Los huevos y las larvas son transportados entre las mandíbulas de las obreras. En África el hábito legionario ha sido desarrollado por las llamadas hormigas conductoras. En América central y en Sudamérica los «ejércitos de hormigas» son muy similares a las hormigas conductoras, en hábitos y apariencia. Pero no tienen una relación estrecha determinada. Las características del oficio de «ejército» han evolucionado de manera independiente y de forma convergente.

Tanto las hormigas conductoras como los ejércitos de hormigas tienen unas colonias muy numerosas, hasta un millón en los ejércitos de hormigas, y hasta 20 millones en el caso de las hormigas conductoras. Ambos tipos tienen fases nómadas alternando con fases «estacionarias» en campamentos o «bivouacs», relativamente estables. Los ejércitos de hormigas y las hormigas conductoras o, mejor dicho, sus colonias tomadas en conjunto como una unidad semejante a una ameba, son depredadores crueles y terribles de sus respectivas junglas. Hacen pedazos a cualquier animal que encuentren en su camino, y han adquirido una aureola mística de terror en sus regiones respectivas. Los habitantes de ciertas partes de Sudamérica tienen fama de abandonar sus pueblos cuando se acerca un gran ejército de hormigas, y volver cuando las legiones se han marchado, después de haber limpiado cada cucaracha, araña y escorpión incluso de los techos de paja. Recuerdo que siendo niño, en África, tenía más miedo de las hormigas conductoras que de los leones o de los cocodrilos. Merece la pena poner esta formidable reputación en perspectiva, citando las palabras de Edward O. Wilson, la primera autoridad mundial en hormigas y autor del libro *Sociobiología*:

En respuesta a una pregunta que se me formula con frecuencia sobre las hormigas, puedo decir: No, las hormigas conductoras no son realmente el terror de la jungla. Aunque una colonia de hormigas conductoras es un «animal» que pesa más de 20 kg, posee del orden de 20 millones de bocas y agujones y es seguramente la creación más formidable del mundo de los insectos, no iguala las historias espeluznantes que se cuentan sobre ellas. Después de todo, la multitud de

hormigas sólo puede cubrir alrededor de un metro de terreno cada tres minutos. Cualquier ratón de campo, sin mencionar un hombre o un elefante, puede apartarse y contemplar placenteramente todo este frenesí entre las raíces de las plantas, este objeto menos amenazante que extraño y maravilloso, la culminación de una historia evolutiva tan diferente a la de los mamíferos como pueda concebirse en este mundo.

En Panamá, ya de adulto, me he apartado y he contemplado el equivalente de las hormigas conductoras en el Nuevo Mundo que tanto había temido en mi infancia en África, fluyendo a mi alrededor como un río crujiente, y puedo testificar la singularidad y la sorpresa. Hora tras hora, las legiones marcharon, caminando tanto sobre los cuerpos de otros como sobre el suelo, mientras yo esperaba a la reina. Finalmente llegó, y fue la suya una imponente presencia. Imposible ver su cuerpo. Apareció como una ola aislada de frenéticas obreras en movimiento, una bola de hormigas en ebullición peristáltica con las patas unidas. Ella estaba en algún lugar en medio de aquella esfera que bullía de obreras, mientras a su alrededor las filas masificadas de soldados miraban hacia fuera de una manera amenazadora con sus mandíbulas boquiabiertas, todos preparados para matar y morir en defensa de la reina. Perdonad mi curiosidad: hurgué la masa de hormigas obreras con un largo bastón, en un intento vano de hacer salir fuera a la reina. En el mismo instante, 20 soldados hundieron sus enormes pinzas en mi bastón, posiblemente para no dejarlo nunca más, mientras docenas de ellos ascendían por el bastón haciéndome soltarlo con presteza.

No llegué a vislumbrar a la reina, pero estaba en algún lugar de aquella masa en ebullición, el banco de datos central, el depósito del DNA patrón de toda la colonia. Aquellos soldados, con sus bocas abiertas, estaban preparados para morir por la reina, no porque amasen a su madre, ni porque hubiesen sido instruidos en los ideales del patriotismo, sino porque sus cerebros y sus mandíbulas fueron construidos por genes impresos a partir del patrón transportado en la propia reina. Se comportaban como bravos soldados porque habían heredado los genes de una larga línea de reinas antepasadas, cuyas vidas, y cuyos genes, fueron salvados por soldados tan bravos como ellos mismos. Mis soldados habían heredado los mismos genes de la reina actual que los que habían heredado aquellos viejos soldados de las reinas ancestrales. Estaban guardando las copias magistrales de todas las múltiples instrucciones que les hacían estar de guardia. Estaban guardando la sabiduría de sus antepasados, el Arca de la Alianza. Estas extrañas afirmaciones se simplificarán en el próximo capítulo.

Sentí entonces extrañeza y asombro, no sin una mezcla de recuerdos de miedos medio olvidados, transfigurados y acrecentados por una comprensión madura, que no tenía cuando era niño en África, de la finalidad que tenía toda aquella representación. Acrecentados también por el conocimiento de que esta historia de las legiones había alcanzado la misma culminación evolutiva no una vez sino dos. Éstas no eran las hormigas conductoras de mis pesadillas infantiles, por muy similares que parecieran, sino primos remotos del Nuevo Mundo. Estaban haciendo lo mismo que las hormigas conductoras, y por las mismas razones. Era ya de noche cuando volví a casa, transformado de nuevo en un muchacho atemorizado, pero alegre dentro de un nuevo mundo de comprensión que había sustituido a aquellos oscuros temores africanos.

5

El poder y los archivos

Afuera cae una lluvia de DNA. En la orilla del canal de Oxford, en la parte baja de mi jardín, hay un gran sauce, que está lanzando al aire semillas de aspecto algodonoso. No hay una corriente continua de aire, y las semillas van a la deriva desde el árbol en todas direcciones. En el canal, arriba y abajo, tan lejos como pueden llegar mis binoculares, el agua está blanca por los copos de aspecto algodonoso, y se puede asegurar que también han alfombrado el suelo en otras direcciones, en un radio similar. La semilla algodonosa está formada, en su mayor parte, por celulosa, que impide el crecimiento de la diminuta cápsula que contiene el DNA, la información genética. El contenido de DNA es una pequeña proporción del total; así pues, ¿por qué digo que cae una lluvia de DNA, en lugar de celulosa? La respuesta es porque el DNA es lo que importa. La pelusa de celulosa, aunque abulta más, es sólo un paracaídas que se desecha. La secuencia en su totalidad, el algodón, las candelillas que cuelgan, el árbol, y todo lo demás, está orientada hacia una sola cosa, la diseminación del DNA por la campiña. No es simplemente cualquier DNA, sino uno cuyos caracteres codificados descifran las instrucciones para que crezcan sauces que, a su vez, esparzan una nueva generación de semillas algodonosas. Estos copos algodonosos son, literalmente, instrucciones diseminadas para hacerse a sí mismos. Están allí porque sus antepasados tuvieron éxito haciendo lo mismo. Afuera cae una lluvia de instrucciones; una lluvia de programas; una lluvia de algoritmos, para hacer crecer árboles, para diseminar copos algodonosos. No es una metáfora, es la pura verdad. No podría ser más cierto si estuviesen cayendo diskettes de ordenador.

Es simple y cierto, pero no hace mucho tiempo que lo hemos comprendido. Hace algunos años, si se preguntaba a cualquier biólogo qué tenían de especial las cosas vivas, en contraposición con las cosas inertes, habría hablado de una sustancia especial llamada protoplasma. El protoplasma no era como cualquier otra sustancia, era vital, vibrante, palpitante, pulsátil, «irritable» (una manera académica de decir que respondía a los estímulos). Si cortáramos un cuerpo vivo en trozos pequeños, llegaríamos hasta las partículas de protoplasma puro. Durante el último siglo, un duplicado real del profesor Challenger, de Arthur Conan Doyle, pensaba que la «globigerina que fluía suavemente» del fondo del mar era puro protoplasma. Cuando yo iba a la escuela, los viejos autores de textos escribían todavía sobre el protoplasma aunque, para entonces, realmente deberían tener más conocimientos. Hoy en día ya no se oye esta palabra. Está tan muerta como el flogisto y el éter universal. No hay nada especial sobre la sustancia de la que están hechas las cosas vivas. Las cosas vivas son colecciones de moléculas, como el resto de las cosas.

Lo que tienen de especial estas moléculas es que están reunidas con unos patrones mucho más complejos que las cosas no vivas, y esta forma de ensamblarse se hace siguiendo unos programas, un conjunto de instrucciones sobre el propio desarrollo, que los organismos llevan en su interior. Puede ser que vibren y latan y pulsen con «irritabilidad», y resplandezcan con un calor «vivo», pero todas estas propiedades emergen de manera incidental. Lo que yace en el corazón de cada cosa viva no es un fuego, ni un aliento de calor, ni una «chispa de vida». Es información, palabras, instrucciones. Si se quiere una metáfora, no hay