

The background of the entire image is a dense school of bright red fish, likely guppies, swimming in clear blue water. The fish are packed closely together, filling the frame from top to bottom and side to side. The water has a slightly textured, painterly appearance with various shades of blue.

Richard
Dawkins

El río del
Edén

L≡LIBROS

Libro proporcionado por el equipo

Le Libros

Visite nuestro sitio y descarga esto y otros miles de libros

<http://LeLibros.org/>

[Descargar Libros Gratis](#), [Libros PDF](#), [Libros Online](#)

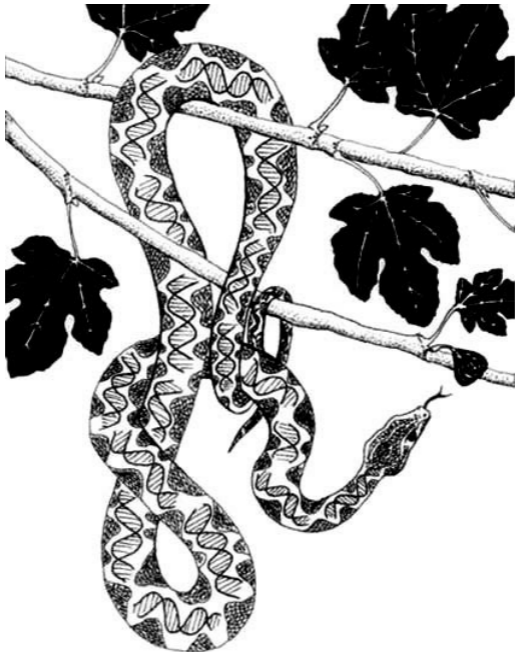
¿Cómo comenzó la bomba de replicación que llamamos «vida» y a dónde en el mundo o, mejor dicho, en el universo, se dirige? Escribiendo con un ingenio característico y una capacidad de clarificar fenómenos complejos (el The New York Times describió su estilo como «el tipo de divulgación científica que hace que el lector se sienta como un genio»), Richard Dawkins se enfrenta a este antiguo misterio.

L≡**LIBROS**

Richard Dawkins

El río del Edén

A la memoria de Henry Colyear Dawkins (1921-1992), miembro del
St. John's College de Oxford: un maestro en el arte de poner las cosas en
claro.



Y salía del Edén un río para regar el jardín.

–GENESIS 2:10

Naturaleza es, al parecer, el nombre popular
de los millares y millares y millares
de partículas que juegan su juego infinito
de billares y billares y billares^[1].

—PIET HEIN

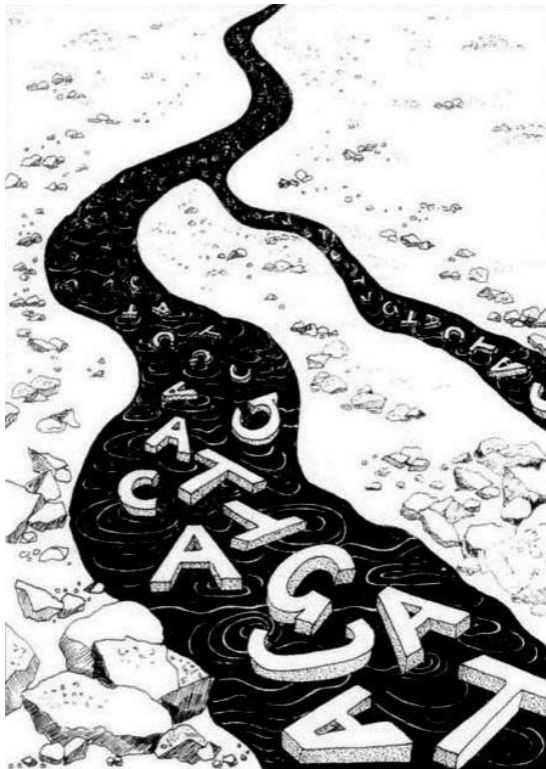
Piet Hein capta el clásico mundo immaculado de la física. Pero cuando las carambolas del billar atómico aciertan a ensamblar un objeto que tiene una cierta y aparentemente inocente propiedad, algo trascendental sucede en el universo. Esta propiedad es la capacidad para autorreplicarse; es decir, el objeto es capaz de utilizar los materiales que le rodean para hacer copias exactas de sí mismo, incluyendo réplicas de aquellas imperfecciones menores que pudieran aparecer ocasionalmente en el proceso de duplicación. En cualquier parte del universo, lo que se seguirá de este singular suceso es la selección darwiniana y de ella la barroca extravagancia que, en nuestro planeta, llamamos vida. Nunca fueron explicados tantos hechos a partir de tan pocas premisas. La teoría darwiniana no sólo dispone de un enorme poder explicativo; su economía a la hora de ejercerlo tiene una enérgica elegancia, una belleza poética que supera incluso al más evocador de los mitos del origen del mundo. Uno de mis propósitos al escribir este libro ha sido otorgar el reconocimiento debido a la cualidad inspiradora del darwinismo en nuestra comprensión moderna de la vida. Hay más poesía en la Eva mitocondrial que en su homónima mitológica.

El rasgo de la vida que, en palabras de David Hume, « más deslumbra y admira a todos los hombres que alguna vez la han contemplado » es el complejo detalle con el que sus mecanismos —los mecanismos que Darwin llamó «órganos de extrema perfección y complejidad»— cumplen un aparente propósito. El otro rasgo de la vida terrestre que más nos impresiona es su exuberante diversidad: según estimaciones del número de especies existentes, hay unas cuantas decenas de millones de formas de buscarse la vida. Otro de mis propósitos es el de convencer a mis lectores de que « formas de buscarse la

vida» es sinónimo de « formas de pasar textos codificados en ADN hacia el futuro» . Mi « río» es un río de ADN que fluye y se ramifica a través del tiempo geológico, y la metáfora de unas abruptas orillas que confinan los juegos genéticos de cada especie resulta ser un recurso explicativo sorprendentemente potente y útil.

De un modo u otro, he dedicado todos mis libros a exponer y explorar el poder casi ilimitado del principio darwiniano —poder que se libera en cualquier momento o lugar donde hay tiempo suficiente para que las consecuencias de la autorreplicación primordial se desenvuelvan—. El río del Edén continúa esta misión y lleva hasta un clímax extraterrestre el relato de las repercusiones que pueden seguirse cuando el fenómeno de los replicadores es inyectado en el, hasta ese momento, humilde juego del billar atómico.

Durante la redacción de este libro he disfrutado de apoyo, ánimo, consejo y crítica constructiva proporcionados, en diferentes combinaciones, por Michael Birkett, John Brockman, Steve Davies, Daniel Dennett, John Krebs, Sara Lippincott, Jerry Lyons y especialmente por mi esposa, Lalla Ward, que también contribuyó con los dibujos. Algunos párrafos de aquí y de allí son reelaboraciones de artículos que han aparecido en alguna parte. Los pasajes del primer capítulo sobre los códigos digitales y analógicos están basados en un artículo mío aparecido en *The Spectator* el 11 de junio de 1994. El relato del capítulo 3, acerca del trabajo de Dan Nilsson y Susanne Pelger sobre la evolución del ojo, fue parcialmente extraído de mi artículo «News and Views» publicado en la revista *Nature* el 21 de abril de 1994. Mi reconocimiento a los editores de ambas revistas que me encargaron los respectivos trabajos. Por último, agradezco a John Brockman y a Anthony Cheetham su invitación inicial para enrolarme en la colección Maestros de la Ciencia.



1. El río digital

Todos los pueblos tienen leyendas épicas sobre sus ancestros tribales y con frecuencia esas leyendas acaban formalizándose en cultos religiosos. El pueblo reverencia e incluso venera a sus antepasados —qué menos, pues son los antepasados reales y no los dioses sobrenaturales los que poseen la clave para comprender la vida—. De todos los organismos que nacen, la mayoría muere antes de convertirse en adultos. De la minoría que sobrevive y se reproduce sólo una minoría todavía más pequeña tendrá, mil generaciones después, descendientes vivos. Esta diminuta minoría de la minoría, esta «élite progenitora», es todo cuanto las generaciones futuras podrán calificar como ancestral. Los ascendientes son escasos, los descendientes comunes.

Todos los organismos que han vivido en algún momento —cada uno de los animales y de las plantas, todas las bacterias y todos los hongos, cada ser reptante y todos los lectores de este libro— pueden volver la vista hacia atrás y hacer orgullosamente la siguiente afirmación: ni uno solo de nuestros ancestros murió durante la infancia. Todos llegaron a ser adultos y todos y cada uno de ellos fueron capaces de encontrar por lo menos un compañero heterosexual y de copular con éxito^[2]. Ni siquiera uno fue derribado por un enemigo, por un virus o por un paso en falso al borde de una sima, antes de traer al mundo al menos un hijo. Miles de coetáneos de nuestros ancestros fracasaron en todos estos aspectos, pero ni un solo y solitario antecesor nuestro fracasó en cualquiera de ellos. Estas afirmaciones resultan abrumadoramente obvias y, sin embargo, de ellas se derivan muchas cosas; algunas curiosas e inesperadas, algunas ilustrativas y otras sorprendentes. Todas estas cuestiones serán el objeto de este libro.

Puesto que todos los organismos heredan todos y cada uno de sus genes de sus ancestros y no de los contemporáneos fracasados de éstos, todos los organismos tienden a poseer genes con éxito; cuentan con lo necesario para convertirse en ancestros —y esto significa sobrevivir y reproducirse—. Esta es la razón por la que los organismos tienden a heredar genes propensos a construir una máquina bien diseñada, un cuerpo que funciona activamente como si estuviese luchando por convertirse en ancestro; el motivo de que los pájaros sean tan buenos en lo que al vuelo se refiere, los peces tan buenos nadadores, los monos tan buenos

trepando y los virus tan buenos propagándose. Esta es la razón por la que amamos la vida y amamos el sexo y amamos a los niños. El mundo acaba poblado por organismos que tienen lo necesario para convertirse en ancestros debido a que todos nosotros, sin una sola excepción, heredamos nuestros genes de una línea ininterrumpida de ancestros que tuvieron éxito. Esto, sintetizado en una frase, es el darwinismo. Evidentemente, Darwin dijo mucho más que eso, y hoy en día todavía hay más cosas que podemos decir, razón por la cual mi libro no termina aquí.

Hay una manera natural, aunque profundamente perniciosa, de malinterpretar el párrafo anterior. Es tentador pensar que cuando nuestros ancestros tuvieron éxito haciendo cosas, los genes que transmitieron a sus hijos estaban, como consecuencia, mejorados en relación con los que ellos habían recibido de sus padres. Algo de este éxito quedó grabado en sus genes y esta es la razón de que sus descendientes sean tan buenos volando, nadando o cortejando. Falso, ¡totalmente falso! Los genes no mejoran con el uso; sencillamente son traspasados sin cambios, a excepción de algunos y muy escasos errores fortuitos. No es el éxito lo que da lugar a buenos genes, son los buenos genes los que dan lugar al éxito y nada de lo que hace un individuo durante su vida tiene efecto alguno sobre ellos. Aquellos individuos que nacen con buenos genes son los que más posibilidades tienen de crecer y de convertirse en ancestros con éxito; por tanto, los buenos genes tienen más posibilidades que los malos de ser transmitidos hacia el futuro. Cada generación es un filtro, una criba: los buenos tienden a atravesarla hasta la siguiente generación, los malos tienden a terminar en cuerpos que mueren jóvenes o que no se reproducen. Los malos genes pueden atravesar la criba durante una o dos generaciones, quizá porque tengan la suerte de compartir el cuerpo con buenos genes. Pero se necesita algo más que suerte para viajar con éxito a través de un millar de cribas consecutivas, una tras otra. Tras un millar de generaciones sucesivas, es probable que los genes que hayan conseguido atravesar todas ellas sean los buenos.

He mencionado que los genes que sobreviven a lo largo de generaciones serán los que hayan tenido éxito en fabricar ancestros. Esto es cierto, pero existe una aparente excepción que debo tratar antes de que su análisis cause confusión. Algunos individuos son irremediablemente estériles; aun así, están aparentemente diseñados para colaborar en la transmisión de sus genes a las generaciones futuras. Las hormigas, las abejas, las avispas y las termitas obreras son estériles. No trabajan para convertirse en ancestros sino para que sus parientes fértiles, normalmente sus hermanas y hermanos, lo hagan. Aquí hay dos ideas que hay que dejar claras. La primera es que en cualquier clase de animal los hermanos y hermanas tienen una alta probabilidad de compartir copias de los mismos genes. La segunda es que es el entorno y no los genes lo que determina si, por ejemplo una termita, será una reproductora o una obrera estéril. Todas las termitas poseen

genes con capacidad para convertirlas en obreras estériles bajo algunas condiciones ambientales y en reproductoras bajo otras. Las reproductoras transmiten duplicados de exactamente los mismos genes que hacen que las obreras estériles les ayuden a hacerlo. Las obreras estériles se dejan la piel bajo la influencia de genes cuyas copias están presentes en los cuerpos de las reproductoras. Las copias obreras de esos genes luchan para ayudar a atravesar la criba transgeneracional a sus propios duplicados reproductivos. Las termitas obreras pueden ser hembras o machos; pero en las abejas, las hormigas y las avispas, las obreras son siempre hembras; por lo demás, el principio es el mismo. Aunque de forma atenuada, este principio también es aplicable a diversas especies de aves, mamíferos y otros animales en las que los hermanos o hermanas mayores proporcionan cierta cantidad de atención a las crías. Para resumir, los genes pueden comprar su salvoconducto para atravesar la criba no sólo ayudando a su propio cuerpo a convertirse en ancestro sino también ayudando al cuerpo de un pariente a hacerlo.

El río del título es un río de ADN y fluye por el tiempo, no por el espacio. Es un río de información, no de huesos y tejidos: un río de instrucciones abstractas para construir cuerpos, no un río de cuerpos sólidos propiamente dichos. La información pasa a través de los cuerpos y los afecta, pero no es afectada por ellos en su camino. El río no sólo no es influenciado por las experiencias y los logros de los sucesivos cuerpos por los que fluye; tampoco influye en él una fuente potencial de contaminación aparentemente mucho más poderosa: el sexo.

En cada una de tus células, la mitad de los genes de tu madre están situados codo con codo con la mitad de los genes de tu padre. Tus genes maternos y tus genes paternos conspiran íntimamente los unos con los otros para hacer de ti la sutil e indivisible amalgama que eres. Pero los genes mismos no se mezclan; sólo sus efectos lo hacen. Los genes tienen individualmente una integridad marmórea. Cuando llega el momento de pasar a la siguiente generación un gen va o no va al cuerpo de un niño. Los genes maternos y los paternos no se mezclan; se combinan de forma independiente. Un gen en concreto que está en ti procede de tu madre o bien de tu padre. Procede también de uno y sólo de uno de tus abuelos; de uno y sólo de uno de tus ocho bisabuelos; y así hacia atrás.

He hablado de un río de genes, pero sería igual de correcto hablar de una banda de buenos amigos marchando a través del tiempo geológico. Todos los genes en una población reproductiva son a largo plazo compañeros unos de otros. A corto plazo se establecen en cuerpos individuales y temporalmente son compañeros íntimos de los otros genes que comparten ese cuerpo. Los genes sobreviven a lo largo del tiempo sólo si son buenos en la construcción de cuerpos que sean eficaces para vivir y reproducirse según el modo de vida particular elegido por la especie. Pero hace falta algo más: para ser un buen superviviente un gen debe ser bueno en el trabajo conjunto con los demás genes de la misma

especie —del mismo río—. Para sobrevivir a largo plazo un gen debe ser un buen compañero. Debe hacerlo bien en la compañía de, o en el escenario del resto de los genes del mismo río. Los genes de otras especies están en un río diferente. No tienen que llevarse bien con ellos —en cualquier caso, no en el mismo sentido— puesto que no comparten los mismos cuerpos.

La característica que define a una especie es que todos sus miembros tienen el mismo río de genes fluyendo por ellos y que todos los genes que forman parte de ella tienen que estar preparados para ser compañeros los unos de los otros. Una nueva especie viene al mundo cuando una especie preexistente se divide en dos. El río de los genes se bifurca en el tiempo. Desde el punto de vista de un gen, la especiación, el origen de nuevas especies, es « el largo adiós ». Después de un breve periodo de separación parcial los dos ríos alejan sus caminos para siempre, o hasta que uno u otro se extingue y desaparece entre la arena. Segura, dentro del cauce de cualquiera de los dos ríos, el agua se mezcla y remezcla mediante recombinación sexual, pero jamás se eleva por encima de las orillas para contaminar al otro río. Una vez que las especies se han dividido, los dos conjuntos de genes ya nunca más son compañeros. Nunca más se reúnen en los mismos cuerpos y nunca más es necesario que se lleven bien entre sí. Ya nunca habrá relación alguna entre ellos; y aquí relación significa literalmente relación sexual entre sus vehículos temporales, los cuerpos.

¿Por qué han de separarse las especies? ¿Qué es lo que pone en marcha el largo adiós de sus genes? ¿Qué provoca que un río se divida y que las dos ramas se alejen separadas para no volver a encontrarse jamás? Los detalles son controvertidos pero nadie duda de que el ingrediente más importante es la separación geográfica accidental. El río de los genes fluye en el tiempo, pero la distribución física de los genes tiene lugar en cuerpos sólidos y los cuerpos ocupan un lugar en el espacio. En Norteamérica, una ardilla gris sería capaz de procrear con una ardilla gris inglesa si llegaran a encontrarse; pero es poco probable que lo hagan. Allí, el río de los genes de la ardilla gris está eficazmente separado por cuatro mil kilómetros de océano del río de los genes de la ardilla gris inglesa. Los dos bandos de genes ya no son compañeros en la realidad, aunque presumiblemente todavía serían capaces de actuar como tales si surgiera la oportunidad. Se han dicho adiós para siempre, aunque todavía no es un adiós irreversible. Pero transcurridos unos cuantos miles de años más de separación, es probable que los dos ríos se hayan distanciado tanto que dos ardillas individuales que se encontraran nunca más serían capaces de intercambiar genes. El término « distanciamiento » significa aquí lejanía, pero no en el espacio sino en compatibilidad.

Algo parecido subyace casi con total seguridad a la más antigua separación entre las ardillas rojas y las ardillas grises. No pueden reproducirse entre ellas. Se solapan geográficamente en partes de Europa y, aunque se encuentran y es

probable que de vez en cuando se enfrenten por los frutos, no pueden aparearse para producir una prole fértil. Sus ríos genéticos se han distanciado demasiado y esto significa que sus genes ya nunca más están preparados para cooperar unos con otros en los cuerpos. Hace muchas generaciones, los antepasados de las ardillas grises y los de las ardillas rojas eran los mismos individuos. Pero fueron separados geográficamente —quizá por una cadena montañosa, quizá por el agua y con el tiempo por el océano Atlántico— y sus conjuntos genéticos crecieron distanciados. La separación geográfica produjo la falta de compatibilidad. Los buenos compañeros se convirtieron en malos compañeros (o resultarían serlo si fueran puestos a prueba en un encuentro de apareamiento). Los malos compañeros se hicieron todavía peores, hasta que hoy en día no son compañeros en absoluto. Su adiós es definitivo. Los dos ríos están separados y destinados a separarse cada vez más. La misma historia se oculta tras la mucho más temprana separación entre, pongamos, nuestros ancestros y los de los elefantes; o entre los ancestros de las avestruces (que también fueron los nuestros) y los de los escorpiones.

Ahora hay tal vez treinta millones de ramificaciones del río de ADN, puesto que ésta es la estimación del número de especies sobre la Tierra. También se ha calculado que las especies supervivientes representan alrededor de un 1 por 100 de las especies que alguna vez existieron. Esto significaría que ha habido en total cerca de tres mil millones de ramificaciones del río de ADN. Los treinta millones de afluentes actuales están irremisiblemente separados. Muchos de ellos están destinados a secarse hasta desaparecer, puesto que la mayoría de las especies se extinguen. Si remontáramos los treinta millones de ríos (para abreviar, me referiré a las ramificaciones como ríos) hacia atrás en el pasado encontraríamos que uno por uno se juntan con otros ríos. El río de los genes humanos confluye con el de los genes de los chimpancés aproximadamente al mismo tiempo que lo hace con el río de los genes de los gorilas, hace aproximadamente siete millones de años. Unos pocos millones de años más atrás, nuestro río común de los primates es alcanzado por el arroyo de los orangutanes. Todavía más hacia atrás se nos une un río de genes de gibón, un río que se divide a favor de la corriente en unas cuantas especies separadas de gibones y siamangs. A medida que seguimos el cauce hacia atrás en el tiempo, nuestro río genético se une con otros cuyo destino, si los seguimos de nuevo hacia delante, es el de ramificarse en los monos del Viejo Mundo, los monos del Nuevo Mundo y los lémures de Madagascar. Todavía más atrás, nuestro río se une con aquellos que conducen a los demás grupos principales de mamíferos: roedores, felinos, murciélagos y elefantes. Después nos encontramos las corrientes que conducen a las distintas clases de reptiles, aves, anfibios, peces e invertebrados.

Llegamos ahora a un aspecto importante en el que hemos de ser precavidos con la metáfora fluvial. Cuando pensamos en el caudal que conduce a todos los

mamíferos —a diferencia de, por ejemplo, el que conduce a la ardilla gris— es tentador imaginar algo de gran escala, estilo Misisipí o Misuri. Después de todo, la rama de los mamíferos está destinada a ramificarse y ramificarse y ramificarse de nuevo hasta que produzca a todos los mamíferos —de la musaraña pigmea hasta el elefante, de los ratones subterráneos hasta los monos en lo alto del dosel arbóreo—. Este río está destinado a alimentar tantos millares de cuencas troncales importantes; ¿qué otra cosa podría ser excepto un enorme y estruendoso torrente? Sin embargo, esta imagen es profundamente errónea. Cuando los ancestros de todos los mamíferos modernos se escindieron de aquellos que no son mamíferos, el acontecimiento no fue más trascendental que cualquier otra especiación. Habría sucedido sin llamar especialmente la atención de cualquier naturalista que hubiese estado por allí. El nuevo afluente del río de los genes habría sido un hilillo de agua que albergaba una especie de pequeñas criaturas nocturnas no mucho más diferentes de sus primos no mamíferos que una ardilla roja de una gris. Sólo en retrospectiva vemos al mamífero ancestral como un mamífero. En aquellos días habría sido únicamente otra especie de «reptil-parecido-a-mamífero», no especialmente distinto de una docena quizá de otros pequeños bocados hocicudos e insectívoros que formaban parte de la dieta de los dinosaurios.

La misma ausencia de drama habría asistido a las separaciones más tempranas entre los ancestros de todos los grandes grupos de animales: los vertebrados, los moluscos, los crustáceos, los insectos, los gusanos segmentados, los gusanos platelmintos, las medusas y demás. Cuando el río que iba a conducir a los moluscos (y a otros) se separó del río que iba a conducir a los vertebrados (y a otros), las dos poblaciones de criaturas (probablemente gusanoides) habrían sido tan parecidas que se habrían podido aparear las unas con las otras. La única razón por la que no lo hicieron es porque habían quedado separadas accidentalmente por alguna barrera geográfica, quizá tierra seca que separaba aguas anteriormente unidas. Nadie habría adivinado que una población estaba destinada a engendrar a los moluscos y otra a los vertebrados. Los dos ríos de ADN eran arroyuelos apenas separados y los dos grupos de animales eran prácticamente indistinguibles.

Los zoólogos saben todo esto, pero a veces lo olvidan cuando contemplan los grupos animales realmente grandes, como los moluscos y los vertebrados. Sienten la tentación de pensar en la división entre los grupos principales como un acontecimiento trascendental. El motivo de que sean tan propensos al error es que han sido educados en la creencia casi reverencial de que cada una de las grandes divisiones del reino animal está dotada de algo profundamente único, algo a lo que aluden con frecuencia utilizando el término alemán *Bauplan*. Aunque esta palabra sólo significa «proyecto», ha llegado a ser un término técnico reconocido y lo conjugaré como si se tratara de una palabra en nuestra

lengua, aunque todavía no haya sido incluida en la edición actual del Oxford English Dictionary (descubrimiento que me ha sorprendido ligeramente). (Puesto que soy menos aficionado a este término que algunos de mis colegas, admito que su ausencia me provoca un pequeño frisson de Schadenfreude^[3]; esas dos palabras extranjeras sí están en el diccionario, luego no existe un prejuicio sistemático contra la importación). En su acepción técnica, *Bauplan* es frecuentemente traducida como « plan corporal fundamental ». La utilización de la palabra « fundamental » (o lo que es lo mismo, recurrir conscientemente a la lengua alemana para indicar trascendencia) es lo que causa el daño. Puede conducir a los zoólogos a cometer serias equivocaciones. Uno de ellos, por ejemplo, ha sugerido que la evolución en el periodo Cámbrico (hace aproximadamente entre seiscientos y quinientos millones de años) debe haber sido un tipo de proceso completamente diferente a la evolución en épocas posteriores. Su razonamiento fue que hoy en día es cuando están apareciendo nuevas especies, mientras que en el periodo Cámbrico estaban apareciendo los grupos principales, tales como los moluscos o los crustáceos. ¡La falacia es flagrante! Incluso criaturas tan radicalmente diferentes las unas de las otras como los moluscos y los crustáceos originalmente sólo eran poblaciones de la misma especie separadas geográficamente. Durante un tiempo podrían haberse reproducido entre ellas si se hubieran encontrado, pero no lo hicieron. Tras millones de años de evolución por separado adquirieron las características que ahora nosotros, con la visión retrospectiva de los zoólogos modernos, reconocemos como las de los moluscos y las de los crustáceos respectivamente. Estas características son dignificadas con el grandioso título de « plan corporal fundamental » o *Bauplan*, pero los principales *bauplanes* del reino animal divergieron gradualmente a partir de orígenes comunes.

Hay que reconocer que hay un desacuerdo menor, si bien muy aireado, sobre cómo es de gradual o de « saltarina » la evolución. Pero nadie, y quiero decir nadie, piensa que haya sido lo suficientemente saltarina como para inventar un nuevo *Bauplan* en un solo paso. El autor que he mencionado escribía en 1958. Hoy pocos zoólogos adoptarían explícitamente esta postura, pero en ocasiones lo hacen de forma implícita, hablando como si los principales grupos de animales hubieran surgido espontáneamente y perfectamente formados, como Atenea de la cabeza de Zeus, más que a causa de la divergencia de una población ancestral mientras se encontraba en aislamiento geográfico accidental^[4].

El estudio de la biología molecular ha mostrado en todos los casos que los grandes grupos de animales están mucho más cerca los unos de los otros de lo que solíamos pensar. Podemos tratar el código genético como un diccionario en el cual sesenta y cuatro palabras en un idioma (los sesenta y cuatro posibles tríos de un alfabeto de cuatro letras) corresponden a veintiuna palabras en otro idioma

(veinte aminoácidos más un signo de puntuación). La probabilidad de llegar a la misma correspondencia 64:21 dos veces por casualidad es menor que una entre un millón de millones de millones de millones de millones. A pesar de ello, el código genético es, de hecho, literalmente idéntico en todos los animales, plantas o bacterias que se han observado. Todos los seres vivientes terrestres son ciertamente descendientes de un único ancestro. Nadie discutiría esto, pero ahora están apareciendo algunas semejanzas extraordinariamente cercanas entre, por ejemplo, insectos y vertebrados, cuando se examina no sólo el propio código sino secuencias detalladas de información genética. El mecanismo genético responsable del plan corporal segmentado de los insectos es bastante complicado; en los mamíferos se ha encontrado una porción de maquinaria genética asombrosamente similar. Desde el punto de vista molecular, todos los animales son parientes bastante cercanos los unos de los otros, e incluso de las plantas. Hay que ir hasta las bacterias para encontrar a nuestros primos lejanos, y aun entonces el código genético mismo es idéntico al nuestro. La razón por la cual es posible realizar esos cálculos tan precisos sobre el código genético pero no sobre la anatomía de los *bauplans* es que el código genético es estrictamente digital, y los dígitos son cosas que puedes contar con precisión. El río de los genes es un río digital y ahora tengo que explicar qué significa este término de ingeniería.

Los ingenieros hacen una importante distinción entre códigos analógicos y digitales. Los tocadiscos y los magnetófonos —y hasta hace poco la mayoría de los teléfonos— utilizan códigos analógicos. Los reproductores de discos compactos, los ordenadores y la mayoría de los sistemas modernos de telefonía utilizan códigos digitales. En un sistema telefónico analógico, ondas fluctuantes y continuas de presión en el aire (sonidos) son convertidas en ondas fluctuantes de voltaje equivalentes en un cable. Un tocadiscos funciona de la misma forma: los surcos ondulados producen una vibración de la aguja, y estos movimientos son convertidos en fluctuaciones correspondientes de voltaje. Al otro extremo de la línea estas ondas de voltaje son transformadas de nuevo, mediante una membrana vibrante en el auricular del teléfono o en los altavoces del tocadiscos, en las correspondientes ondas de presión aérea, de manera que podamos oírlas. El código es simple y directo: fluctuaciones eléctricas en un cable son proporcionales a fluctuaciones de presión en el aire. Todos los posibles voltajes, dentro de ciertos límites, pueden pasar por el cable y las diferencias entre ellos son importantes.

En un teléfono digital sólo pasan por el cable dos voltajes posibles, o algún otro número discreto de voltajes, como 8 o 256. La información no descansa en los voltajes en sí mismos sino en el patrón de los niveles discretos. Esto se conoce como Modulación por Impulsos Codificados. El voltaje concreto en cualquier momento dado raramente será idéntico a ninguno de los digamos ocho valores nominales, pero el aparato receptor lo redondeará hasta el más cercano de los

voltajes designados, de manera que lo que surge al otro extremo de la línea es prácticamente perfecto incluso aunque la transmisión a lo largo de ésta sea pobre. Todo lo que hay que hacer es establecer niveles discretos lo suficientemente separados como para que las fluctuaciones al azar nunca puedan ser malinterpretadas por el instrumento receptor como pertenecientes al nivel erróneo. Esta es la gran virtud de los códigos digitales, el motivo de que los sistemas de audio y vídeo —y la tecnología de la información en general— se estén volviendo gradualmente digitales. Los ordenadores, por supuesto, utilizan códigos digitales para todo cuanto hacen. Por razones de conveniencia, utilizan un código binario; es decir, sólo tiene dos niveles de voltaje en vez de 8 o 256.

Incluso en un teléfono digital, los sonidos que entran y que abandonan el auricular son todavía fluctuaciones analógicas en la presión del aire. Es la información que viaja de intercambio a intercambio la que es digital. Es necesario establecer algún código para traducir valores analógicos, microsegundo a microsegundo, a secuencias de impulsos discretos —números codificados digitalmente—. Cuando tienes una conversación romántica por teléfono, cada matiz, cada temblor de la voz, cada suspiro apasionado y tono anhelante es transportado a lo largo del cable exclusivamente en forma de números. Los números pueden provocar que te echas a llorar —siempre que sean codificados y decodificados con la suficiente rapidez—. La moderna conmutación electrónica es tan rápida que el tiempo de la línea puede ser dividido en porciones, de la misma forma en la que un maestro del ajedrez puede dividir su tiempo entre veinte partidas en rotación. Mediante esta tecnología se pueden encajar en la misma línea telefónica miles de conversaciones aparentemente simultáneas, aunque segregadas electrónicamente y sin interferencias. Una línea troncal de transmisión de datos —muchas de ellas hoy en día no son cables en absoluto sino haces de radio, transmitidos tanto de cumbre a cumbre como rebotadas de satélites— es un enorme río de dígitos. Pero debido a esta ingeniosa segregación electrónica, es un millar de ríos digitales, los cuales comparten las mismas orillas sólo en un sentido superficial, como las ardillas rojas y las grises, que comparten los mismos árboles pero nunca entremezclan sus genes.

Volviendo al mundo de los ingenieros, las deficiencias de las señales analógicas no importan demasiado mientras no sean copiadas repetidamente. Una grabación en cinta magnetofónica puede tener tan poca distorsión en ella que sea difícil percibirla —a menos que amplifiques el sonido, en cuyo caso amplificas la distorsión e introduces también algo de ruido nuevo—. Pero si grabas una cinta de esa cinta y después haces una grabación de la grabación de la cinta, y así una y otra vez, tras un centenar de «generaciones» todo lo que quedará será un horrible silbido. Algo parecido a esto suponía un problema en la época en la que los teléfonos eran analógicos. Cualquier señal telefónica que

vía por un cable largo se va desvaneciendo y tiene que ser estimulada —reamplificada o «repetida»— aproximadamente cada ciento cincuenta kilómetros. En los tiempos analógicos esto era una pesadilla, porque cada fase de reamplificación aumentaba la proporción de silbido de fondo. Las señales digitales también necesitan estímulo, pero por las razones que hemos visto el estímulo no introduce error alguno; se pueden establecer las cosas de manera que la información se transmita perfectamente, no importa cuántos repetidores intervengan. La distorsión no aumenta incluso tras cientos y cientos de kilómetros.

Cuando era pequeño, mi madre me explicó que nuestras células nerviosas son los cables telefónicos del cuerpo; pero ¿son analógicos o digitales? La respuesta es que son una interesante mezcla de ambos. Una célula nerviosa no es como un cable eléctrico, es un tubo largo y delgado por el que pasan ondas de cambio químico, como un reguero de pólvora chisporroteando a lo largo del suelo; excepto que, a diferencia de un reguero de pólvora, el nervio pronto se recupera y puede chisporrotear de nuevo después de un breve periodo de descanso. La magnitud absoluta de la onda —la temperatura de la pólvora— puede fluctuar a medida que corre a lo largo del nervio, pero es irrelevante. El código la ignora. El impulso químico está o no está presente, como dos niveles de voltaje discretos en un teléfono digital. Hasta aquí el sistema nervioso es digital. Pero los impulsos nerviosos no son forzados a convertirse en bytes^[5]: no se asocian en números de código discretos. En su lugar, la fuerza del mensaje (la potencia del sonido, el brillo de la luz, quizá incluso la intensidad de nuestros sentimientos) es codificada como una tasa de impulsos. Los ingenieros conocen esto como Modulación por Frecuencia de Impulsos, y era popular entre ellos antes de que se adoptara la Modulación por Impulsos Codificados.

Una tasa de impulsos es una cantidad analógica, pero los impulsos mismos son digitales: están o no están ahí, sin medias tintas; y el sistema nervioso obtiene el mismo beneficio de ello que cualquier sistema digital. Debido a la forma en la que funcionan las células nerviosas hay el equivalente a un repetidor amplificador, no cada cien millas sino cada milímetro. Es decir, ochocientas estaciones de repetición entre la médula espinal y la punta de un dedo. Si la altura absoluta del impulso nervioso —la onda de pólvora— fuera importante, el mensaje se iría distorsionando, hasta que fuera imposible reconocerlo, a lo largo de la longitud de un brazo humano, por no mencionar el cuello de una jirafa. Cada fase de amplificación introduciría más error aleatorio, como sucede cuando hacemos ochocientas veces una grabación en cinta a partir de una cinta grabada o cuando fotocopias la fotocopia de una fotocopia. Después de ochocientas «generaciones» de fotocopias todo lo que queda es una mancha gris. La codificación digital ofrece la única solución posible al problema de las células nerviosas, y la selección natural la ha adoptado indolentemente. Lo mismo se cumple para los genes.

En mi opinión, Francis Crick y James Watson, los descubridores de la estructura molecular del gen, deberían ser venerados durante tantos siglos como Aristóteles y Platón. Les fueron concedidos sendos premios Nobel en « fisiología o medicina» y esto es correcto pero casi trivial. Hablar de revolución continua es casi una contradicción en los términos; aun así, no sólo la medicina sino nuestra comprensión global de la vida continuarán siendo revolucionadas una y otra vez como resultado directo de los cambios en el pensamiento que aquellos dos jóvenes iniciaron en 1953. Los propios genes y las enfermedades genéticas son sólo la punta del iceberg. Lo verdaderamente revolucionario de la biología molecular en la era post Watson-Crick es que se ha convertido en digital.

Gracias a Watson y Crick sabemos que los genes, en su diminuta estructura interna, son largas cadenas de información digital en estado puro. Es más, son verdaderamente digitales en el poderoso y completo sentido de los ordenadores y los discos compactos, no sólo en el débil sentido del sistema nervioso. El código genético no utiliza un código binario como los ordenadores, tampoco un código de ocho niveles como algunos sistemas telefónicos, sino un código cuaternario con cuatro símbolos. El código máquina de los genes es asombrosamente parecido al de los ordenadores; dejando de lado algunas diferencias en la jerga, las páginas de una revista de biología molecular podrían intercambiarse con las de una revista de ingeniería informática. Esta revolución digital en el mismo núcleo de la vida ha dado, entre otras muchas consecuencias, el golpe letal definitivo al vitalismo —la creencia de que la materia viva es profundamente distinta de la materia inerte—. Hasta 1953 todavía era posible creer que había algo fundamental e irreductiblemente misterioso en un protoplasma viviente. Ya no. Incluso aquellos filósofos que mostraban cierta predisposición a la perspectiva mecanicista de la vida no se habrían atrevido a prever una realización tan absoluta de sus sueños más radicales.

El siguiente argumento de ciencia ficción es verosímil si imaginamos una tecnología que difiere de la actual tan sólo en que está un poco más adelantada. El profesor Jim Crickson^[6] ha sido secuestrado por una maligna potencia extranjera y ha sido forzado a trabajar en sus laboratorios biológicos bélicos. Para salvar a la civilización, es de importancia vital que comunique al mundo exterior cierta información de alto secreto, pero todos los canales normales de comunicación le están vedados. Excepto uno. El código de ADN consiste en sesenta y cuatro tripletes —«codones»— suficientes para un alfabeto inglés completo en mayúscula y minúscula más diez números, un carácter de espacio y un punto final. El profesor Crickson recupera un violento virus de la gripe de la estantería del laboratorio y, mediante ingeniería, le introduce en su genoma el texto completo de su mensaje para el mundo exterior en frases en inglés perfectamente construidas. Repite su mensaje una y otra vez en el genoma manipulado, añadiendo una secuencia «bandera» fácilmente reconocible —por

ejemplo, los diez primeros números primos—. Después, se infecta a sí mismo con el virus y estornuda en una habitación llena de gente. Una ola de gripe barre el mundo y los laboratorios médicos en tierras lejanas se ponen a trabajar en la secuenciación del genoma del virus en un intento para diseñar una vacuna. Pronto resulta evidente que hay un patrón extraño repetido en el genoma. Alertados por los números primos —que no habrían podido surgir de manera espontánea—, alguien considera la idea de someterlo a técnicas de decodificación. A partir de este punto llevaría poco tiempo leer el texto completo en inglés, estornudado alrededor del mundo, del mensaje del profesor Crickson.

Nuestro sistema genético, que es el sistema universal de toda la vida en el planeta, es digital hasta la médula. Con una precisión de palabra por palabra podrías codificar el Nuevo Testamento al completo en aquellas partes del genoma humano que están ahora llenas de ADN «basura», es decir, ADN no utilizado, al menos de manera ordinaria, por el cuerpo. Cada célula de tu cuerpo contiene el equivalente a cuarenta y seis cintas de datos inmensas que recitan de un tirón caracteres digitales por medio de numerosas cabezas lectoras que trabajan simultáneamente. En cada célula, estas cintas —los cromosomas— contienen la misma información, pero las cabezas lectoras situadas en los diferentes tipos de células buscan diferentes partes de la base de datos para sus propósitos especializados. Esta es la razón por la que las células musculares son diferentes de las células del hígado. No hay ninguna fuerza vital impulsada por el espíritu, ninguna pulsante, convulsiva, pululante y mística gelatina protoplásmica. La vida es sólo bytes y bytes y más bytes de información digital.

Los genes son información pura; información que puede ser codificada, recodificada y decodificada sin degradación alguna o cambio de significado. La información pura puede ser copiada y, puesto que es información digital, la fidelidad de la copia puede ser inmensa. Los caracteres del ADN son transcritos con una precisión que rivaliza con cualquier cosa que los ingenieros modernos puedan hacer. Son copiados a lo largo de generaciones únicamente con los suficientes errores ocasionales como para producir variedad. Entre esta variedad, aquellas combinaciones codificadas que se hagan más numerosas en el mundo serán, obvia y automáticamente, las que cuando sean decodificadas y obedecidas dentro de los cuerpos harán a éstos tomar medidas activas para preservar y propagar esos mismos mensajes de ADN. Nosotros —y con esto quiero decir todos los seres vivos— somos máquinas de supervivencia programadas para propagar la base de datos digital que hizo la programación. El darwinismo es visto ahora como la supervivencia de los supervivientes en el nivel del código digital puro.

Visto en retrospectiva, no podría haber sido de otra manera. Podríamos imaginar un sistema genético analógico, pero ya hemos visto lo que sucede con la información analógica cuando es copiada durante generaciones sucesivas.

Es como el juego de los susurros chinos^[7]. Los sistemas telefónicos reamplificados, las cintas recopiadas, las fotocopias de fotocopias, es decir, las señales analógicas, son tan vulnerables a la degradación acumulativa que no se pueden copiar más allá de un número limitado de generaciones. Los genes, por el contrario, pueden copiarse a sí mismos durante diez millones de generaciones sin degradarse en absoluto, o con poquísimas degradación. El darwinismo funciona solamente porque —a excepción de las mutaciones discretas que la selección natural suprime o bien conserva— el proceso de transcripción es perfecto. Sólo un sistema genético digital es capaz de mantener el darwinismo durante eones de tiempo geológico. 1953, el año de la doble hélice, se contemplará en el futuro no sólo como el fin de las visiones místicas y oscurantistas de la vida; los darwinistas lo contemplarán como el año en el que su materia se hizo finalmente digital.

El río de información digital pura, fluyendo majestuosamente a través del tiempo geológico y separándose en tres mil millones de ramificaciones, es una imagen impactante. Pero ¿dónde deja los rasgos familiares de la vida?, ¿dónde deja a los cuerpos, las manos y pies, los ojos y los cerebros y los bigotes, hojas y troncos y raíces?, ¿dónde nos deja a nosotros y a nuestras partes? Nosotros —los animales, las plantas, los protozoos, los hongos y las bacterias— ¿somos sólo orillas entre las cuales fluyen riachuelos de datos digitales? En un sentido sí. Pero, como he dejado entrever, hay algo más que eso. Los genes no sólo hacen copias de sí mismos que circulan fluyendo durante generaciones. Ellos, en realidad, pasan su vida en los cuerpos e influyen en la forma y en el comportamiento de los sucesivos cuerpos en los que habitan. También los cuerpos son importantes.

El cuerpo de, por ejemplo un oso polar, no sólo es un par de riberas en un arroyuelo digital. También es una máquina de una complejidad del tamaño de un plantigrado. Todos los genes de la población completa de los osos polares son un colectivo —buenos compañeros compitiendo unos con otros a través del tiempo—, pero no pasan todo este tiempo en compañía del resto de los miembros del colectivo; cambian de socios dentro del conjunto que constituye el colectivo, el cual está definido como el conjunto de genes que pueden encontrarse, potencialmente, con cualquier otro gen del colectivo (pero no con miembros de cualquiera de los treinta millones de otros colectivos del mundo). Los encuentros reales siempre tienen lugar dentro de una célula en el cuerpo de un oso polar. Y ese cuerpo no es un receptáculo pasivo de ADN.

Para empezar, el verdadero número de células (cada una de las cuales es un conjunto completo de genes) supera la imaginación: cerca de novecientos millones de millones para un gran oso macho. Si pusieras en fila todas las células de un solo oso polar, la hilera podría hacer cómodamente el viaje de ida y vuelta de aquí a la luna. Estas células pertenecen a un par de cientos de clases distintas; esencialmente, el mismo par de cientos para todos los mamíferos: células musculares, células nerviosas, células óseas, células epidérmicas, etcétera. Las

células de cualquiera de estos tipos están agrupadas formando tejidos: el tejido muscular, el tejido óseo y demás. Todas las clases diferentes de células contienen las instrucciones genéticas necesarias para dar lugar a cualquiera de los tipos de tejidos, pero sólo están activados los genes apropiados para el tejido correspondiente. Esta es la causa de que las células de los diferentes tejidos tengan diferentes formas y tamaños. Más interesante es que los genes que están en funcionamiento en las células de una clase en particular son los responsables de que esas células hagan crecer a sus tejidos con una forma determinada. Los huesos no son masas informes de tejido rígido y duro. Los huesos tienen formas concretas con fustes huecos, bolas y cuencas, espinas y espolones. Las células están programadas, por los genes activados dentro de ellas, para comportarse como si conocieran dónde están en relación con sus células vecinas; de esta manera construyen sus tejidos con la forma de lóbulos de oreja y válvulas cardíacas, lentes oculares y músculos del esfínter.

La complejidad de un organismo como un oso polar tiene muchos estratos. El cuerpo es una colección compleja de órganos conformados con precisión, como los hígados y los riñones y los huesos. Cada órgano es un complejo edificio formado por tejidos particulares cuyos ladrillos de construcción son las células, dispuestas con frecuencia en capas o láminas pero habitualmente también como masas sólidas. A una escala mucho más pequeña, cada célula tiene una estructura interior extremadamente compleja de membranas plegadas. Estas membranas, y el agua que hay entre ellas, son el escenario de intrincadas reacciones químicas de muchísimas clases. Dentro de una factoría química de la ICI o de la Union Carbide puede haber varios cientos de reacciones químicas distintas llevándose a cabo. Estas se mantendrán separadas las unas de las otras mediante las paredes de los matraces, los tubos de ensayo, etc... Dentro de una célula viva podría haber un número similar de reacciones químicas teniendo lugar simultáneamente. Hasta cierto punto, las membranas en una célula son como los útiles de cristal de un laboratorio, pero la analogía no es buena por dos razones. La primera es que aunque muchas de las reacciones químicas suceden entre las membranas, un buen número de ellas lo hace dentro de la sustancia de las propias membranas. La segunda es que hay una manera más importante de mantener las diferentes reacciones separadas: cada reacción es catalizada por su propia enzima especial.

Una enzima es una molécula muy grande cuya forma tridimensional acelera un tipo particular de reacción química proporcionándole una superficie que estimula esa reacción. Puesto que lo importante en las moléculas biológicas es su forma tridimensional, podríamos considerar a la enzima como una gran herramienta mecánica, cuidadosamente afinada para producir una línea completa de moléculas con una forma determinada. De esta manera, cualquier célula individual puede tener en su interior cientos de reacciones químicas

sucediendo simultánea y separadamente, sobre la superficie de diferentes moléculas enzimáticas. Las clases concretas de moléculas enzimáticas que están presentes en grandes cantidades determinan qué reacciones químicas en particular suceden dentro de una célula dada. Cada molécula enzimática, incluyendo su crucial forma, se ensambla bajo la influencia determinista de un gen en particular. Para ser más específico: la secuencia exacta de varios cientos de letras de código en el gen determina, mediante un conjunto de reglas que son totalmente conocidas (el código genético), la secuencia de aminoácidos de la molécula enzimática. Cada molécula enzimática es una cadena lineal de aminoácidos y cada cadena lineal de aminoácidos se enrolla espontáneamente formando una estructura tridimensional particular y única, como un nudo, en la cual partes de la cadena forman enlaces cruzados con otras partes de la cadena. La estructura tridimensional exacta del nudo está determinada por la secuencia unidimensional de aminoácidos y, por tanto, por la secuencia unidimensional de letras de código en el gen. Y de esta manera las reacciones químicas que tienen lugar en una célula están determinadas por el tipo de genes que están activados.

¿Qué es entonces lo que determina qué genes están activados en una célula concreta? La respuesta es que son los compuestos químicos que están ya presentes en ella. Aquí tenemos una versión del problema del huevo y la gallina, pero no es insuperable. La solución a la paradoja es realmente muy sencilla en su fundamento, aunque se complica en el detalle. Es la solución que los ingenieros informáticos conocen como «cebado». Cuando en los años sesenta empecé a utilizar computadoras por primera vez había que cargar todos los programas utilizando cinta de papel (las computadoras americanas de la época utilizaban con frecuencia tarjetas perforadas, pero el principio era el mismo). Antes de que pudieras cargar la enorme cinta de un programa serio tenías que cargar un programa más pequeño llamado el cargador de programa inicial. Este programa hacía una sola cosa: decir a la computadora cómo cargar las cintas de papel. Pero —aquí está la paradoja huevo-gallina— ¿cómo se cargaba la propia cinta del cargador de programa inicial? En los ordenadores modernos, el equivalente a esto está integrado en la máquina, pero en aquellos días tenías que comenzar por activar interruptores de palanca siguiendo una secuencia ritual. Esta secuencia decía a la computadora cómo empezar a leer la primera parte de la cinta del cargador de programa inicial. Después, la primera parte de la cinta le daba un poco más de información sobre cómo leer la siguiente porción de la cinta, y así sucesivamente. Para cuando el cargador de programa inicial completo había sido engullido, la máquina sabía cómo leer cualquier cinta de papel y se había convertido en una computadora útil.

En el origen del embrión, una célula sencilla —el óvulo fertilizado— se divide en dos; cada una de las dos se divide para dar cuatro; cada una de las cuatro se divide para dar ocho, y así sucesivamente. Es tal el poder de la división

exponencial que sólo son necesarias unas cuantas docenas de generaciones para elevar la cantidad de células hasta los billones. Pero si esto fuera lo único que ocurriera, los billones de células serían todas iguales. ¿Cómo se diferencian (utilizando el término técnico), sin embargo, en células de hígado, células de riñón, células musculares, etc..., cada una con diferentes genes activados y, por tanto, con diferentes enzimas activas? Mediante el cebado, y funciona de la siguiente manera. Aunque el óvulo parezca una esfera, en realidad posee polaridad en su química interna: tiene una parte superior y una inferior, y en muchos casos también una anterior y una posterior (y, por consiguiente, un lado derecho y un izquierdo). Esta polaridad se manifiesta en forma de gradientes (o gradaciones) de compuestos químicos. La concentración de algunos de ellos aumenta de forma constante a medida que te mueves desde la parte anterior a la posterior y otros a medida que te mueves de la parte superior a la inferior. Estos tempranos gradientes son bastante simples, pero son suficientes para constituir la primera fase de una operación de cebado.

Cuando el óvulo se ha dividido, pongamos en treinta y dos células (es decir, después de cinco divisiones) algunas de esas treinta y dos células tendrán más compuestos químicos superiores de la cuenta, y otras más compuestos químicos inferiores de la cuenta. Las células podrían estar también desequilibradas respecto a los compuestos químicos del gradiente posterior y anterior. Estas diferencias son suficientes para causar la activación de diferentes combinaciones de genes en células distintas. Por tanto, en las células de las diferentes partes del embrión temprano habrá distintas combinaciones de enzimas que determinarán la activación de diferentes combinaciones adicionales de genes en células distintas. En consecuencia, dentro del embrión los linajes celulares divergen en vez de permanecer idénticos a sus ancestros clónicos.

Estas divergencias difieren mucho de las divergencias entre especies que hemos mencionado antes. Las divergencias celulares están programadas y son predecibles en detalle, mientras que las divergencias entre especies fueron el resultado fortuito de accidentes geográficos y eran impredecibles. Es más, cuando las especies divergen, los genes mismos divergen en lo que yo he llamado románticamente el largo adiós. Cuando los linajes de células divergen en un embrión, ambas divisiones reciben los mismos genes —todos ellos—. Pero células distintas reciben combinaciones distintas de compuestos químicos que activan diferentes combinaciones de genes. Hay también algunos genes que trabajan para activar o desactivar a otros. Y así el cebado continúa, hasta que tenemos el repertorio completo de los diversos tipos de células.

El embrión en desarrollo no sólo se diferencia en un par de cientos de tipos distintos de células. También experimenta elegantes cambios dinámicos en su forma interna y externa. Quizá el más dramático de ellos es uno de los más tempranos: el proceso conocido como gastrulación. El distinguido embriólogo

Lewis Wolpert ha llegado tan lejos como para decir: « Realmente, el momento más importante de tu vida no es el nacimiento, el matrimonio o la muerte, sino la gastrulación» . Lo que sucede durante la gastrulación es que una región de la bola hueca de células se repliega hacia dentro para formar una copa con revestimiento interno. Todas las embriologías del reino animal experimentan esencialmente este mismo proceso de gastrulación y es un proceso que constituye la base uniforme sobre la que descansa la diversidad de las embriologías. Aquí he mencionado la gastrulación sólo como un ejemplo, particularmente dramático, del tipo de incansable movimiento papirofléxico de láminas completas de células que se observa con frecuencia en el desarrollo embrionario.

Al final de una exhibición de papiroflexia propia de un virtuoso; tras numerosos plegamientos, torsiones, abultamientos y estrechamientos de capas de células; después de una gran cantidad de crecimiento diferencial, dinámicamente orquestado, de unas regiones del embrión a expensas de otras; después de la diferenciación en cientos de clases química y físicamente especializadas de células; cuando el número total de células ha alcanzado los billones, obtenemos el producto final: un recién nacido. Rectifico, ni siquiera el recién nacido es definitivo, porque el crecimiento global del individuo —de nuevo con unas partes creciendo más rápido que otras— pasando por la etapa adulta hasta la vejez, debería ser visto como una prolongación del mismo proceso embriológico: la embriología global.

Los individuos varían debido a diferencias en los detalles cuantitativos de su embriología global. Una capa de células crece un poco más antes de doblarse sobre sí misma y el resultado ¿qué es?: una nariz aguileña en vez de una nariz chata; los pies planos, que podrían salvar tu vida porque te libran del servicio militar; una conformación particular del omóplato que te predispone a ser un buen lanzador de jabalina (o de granadas de mano o de pelotas de *cricket*, dependiendo de tus circunstancias). Algunas veces, los cambios individuales en la papiroflexia celular pueden tener trágicas consecuencias, como cuando un bebé nace sin manos y con muñones en vez de brazos. Las diferencias individuales que no se manifiestan en la papiroflexia de las capas celulares, sino de forma puramente química, pueden tener consecuencias igual de importantes: la incapacidad para digerir la leche, la predisposición a la homosexualidad, a la alergia a los cacahuetes o a pensar que el sabor del mango recuerda desagradablemente a la trementina.

El desarrollo embrionario es una exhibición química y física muy complicada. El cambio de los pormenores en cualquier punto de su curso puede tener más adelante notables consecuencias. Esto no es sorprendente si recordamos lo fuertemente cebado que está el proceso. Muchas de las diferencias en la forma en la que los individuos se desarrollan se deben a

diferencias en el entorno: carencia de oxígeno o exposición a la talidomida, por ejemplo. Muchas otras son debidas a diferencias en los genes; no sólo a los genes considerados aisladamente, sino a los genes en interacción con otros y en interacción con diferencias ambientales. Un proceso tan complicado y caleidoscópico, y tan intrincada y recíprocamente cebado como el desarrollo embrionario, es a la vez robusto y sensible. Es robusto en el sentido de que, para producir un bebé vivo, combate muchos cambios potenciales con tantas probabilidades en contra que a veces parecen casi abrumadoras. Al mismo tiempo, es sensible a los cambios, puesto que no hay dos individuos, ni siquiera dos gemelos idénticos, que sean literalmente idénticos en todos sus rasgos.

Y ahora vayamos a la idea a la que todo esto nos ha estado conduciendo. En la medida en la que las diferencias entre los individuos son debidas a los genes (que puede ser en una medida mayor o menor), la selección natural puede favorecer algunas peculiaridades de la papiroflexia embriológica o de la química embriológica y desfavorecer otras. En la medida en la que tu brazo lanzador está condicionado genéticamente, la selección natural puede favorecerlo o no. Si ser capaz de lanzar bien afecta, por poco que sea, a la probabilidad de que un individuo sobreviva lo suficiente como para tener hijos, los genes que influyen sobre la habilidad de lanzamiento tendrán, en esa medida, una mayor probabilidad de pasar triunfantes a la siguiente generación. Cualquier individuo puede morir por razones que no tienen nada que ver con su habilidad para lanzar. Pero un gen que tiende a hacer a los individuos mejores lanzadores cuando está presente habitará muchos cuerpos, tanto buenos como malos, durante muchas generaciones. Desde el punto de vista del gen en particular, las otras causas de la muerte serán despreciables. En la perspectiva del gen sólo existe el panorama del río de ADN fluyendo a través de las generaciones, albergado sólo temporalmente en cuerpos particulares y compartiendo sólo temporalmente un cuerpo con genes compañeros que podrían o no tener éxito.

A largo plazo, el río se llena de genes que son buenos de cara a la supervivencia por motivos distintos: porque mejoran ligeramente la capacidad para lanzar una jabalina, porque mejoran ligeramente la capacidad para detectar el veneno mediante el gusto, o cualquier otra cosa. Los genes que, como media, son peores de cara a la supervivencia (porque tienden a causar visión astigmática en los sucesivos cuerpos que habitan, que como consecuencia tienen menos éxito en el lanzamiento de jabalina; o porque hacen a sus sucesivos cuerpos menos atractivos y, por tanto, con menos posibilidades de aparearse) tenderán a desaparecer del río de los genes. Para todo esto recuerda la idea a la que llegamos antes: los genes que sobreviven en el río serán los que son buenos supervivientes en el entorno típico de la especie; y quizá el aspecto más importante de este entorno típico sean los demás genes de la especie; aquellos otros genes con los que es probable que un gen que tenga que compartir el

cuerpo, los que nadan a través del tiempo geológico en el mismo río.



2. Toda África y su progenie

Con frecuencia se considera inteligente afirmar que la ciencia no es más que nuestro mito moderno del origen. Los judíos tenían su Adán y su Eva, los sumerios su Marduck y su Gilgamesh, los griegos a Zeus y a los olímpicos, los vikingos su Walhalla. ¿Qué es la evolución —dice alguna gente sagaz— sino nuestro equivalente moderno de los dioses y héroes épicos, ni mejor ni peor, ni más veraz ni más falso? Hay una filosofía de salón, muy de moda, llamada relativismo cultural que mantiene en su forma más extrema que la ciencia no puede pretender la verdad más de lo que puede hacerlo un mito tribal: la ciencia tan sólo es la mitología favorecida por nuestra tribu occidental moderna. En una ocasión, un colega antropólogo me obligó a plantear el asunto descarnadamente de la siguiente manera: supón, dije, que hay una tribu que cree que la luna es una vieja calabaza colgada en el cielo sobre las copas de los árboles, justo fuera de nuestro alcance. ¿Realmente afirmáis que nuestra verdad científica —que la luna está a una distancia de cerca de cuatrocientos mil kilómetros y que tiene un cuarto del diámetro de la Tierra— no es más verdadera que la calabaza de la tribu? «Sí», dijo el antropólogo, «hemos sido criados en una cultura que ve el mundo de manera científica. Ellos son criados para ver el mundo de otra manera. Ninguna manera es más veraz que la otra».

Enséñame un relativista cultural a nueve mil metros de altitud y te mostraré a un hipócrita. Los aviones construidos de acuerdo con los principios científicos funcionan. Se mantienen en las alturas y te llevan al destino elegido. Los aviones construidos siguiendo directrices tribales o mitológicas, tales como las maquetas de aviones de los cultos de cargo^[8] en los claros de la selva o las alas de cera de abeja de Ícaro, no^[9]. Si estás volando de camino a un congreso internacional de antropólogos o de críticos literarios, probablemente la razón por la que llegarás allí —la razón por la que no caerás en picado sobre un campo arado— es que a un montón de ingenieros, entrenados científicamente a la occidental, les han salido bien las sumas. La ciencia occidental, actuando de acuerdo con pruebas concluyentes de que la luna gira en órbita alrededor de la tierra a una distancia de cuatrocientos mil kilómetros y utilizando ordenadores y cohetes de diseño occidental, ha conseguido colocar con éxito a personas sobre su superficie. La

ciencia tribal, creyendo que la luna está justo encima de las copas de los árboles, nunca la tocará a no ser que sea en sueños.

Raramente doy una conferencia pública sin que un miembro de la audiencia me interrumpa con algún brillante comentario en la misma línea que mi colega el antropólogo, y normalmente este comentario provoca un murmullo de aprobación. Sin duda los que asienten con la cabeza se consideran buenos, liberales y no racistas. Un argumento que provoca gestos de asentimiento con más fiabilidad es: « Esencialmente, su creencia en la evolución se reduce a una cuestión de fe y, por tanto, no es mejor que la creencia de cualquier otro en el Jardín del Edén» .

Cada tribu tiene su mito del origen —su relato que da cuenta del universo, de la vida y de la humanidad—. Hay un sentido en el que la ciencia realmente proporciona el equivalente a esto, por lo menos para el sector culto de nuestra sociedad moderna. La ciencia podría describirse incluso como una religión y yo mismo he publicado argumentos, no del todo irónicos, a favor de que la ciencia sea considerada una materia apropiada para las clases de educación religiosa^[10]. (En Gran Bretaña, la educación religiosa es una asignatura obligatoria del currículum escolar, a diferencia de Estados Unidos, en donde está prohibida por miedo a ofender a la plétora de credos mutuamente incompatibles). La ciencia comparte con la religión la afirmación de que contesta preguntas fundamentales sobre los orígenes, la naturaleza de la vida y el cosmos. Pero aquí acaba el parecido. Las creencias científicas están sustentadas en la evidencia y consiguen resultados. Los mitos y los credos ni lo uno ni lo otro.

De todos los mitos del origen, el relato judío del Jardín del Edén domina tanto en nuestra cultura que ha legado su nombre a una importante teoría científica acerca de nuestra ascendencia, la teoría de la «Eva africana». Dedico este capítulo a la Eva africana en parte porque me permitirá desarrollar la analogía del río de ADN, pero también porque quiero contrastarla, como hipótesis científica, con el legendario matriarcado del Jardín del Edén. Si tengo éxito, descubrirás que la verdad es más interesante, incluso poéticamente más emocionante, que el mito. Empecemos con un ejercicio de razonamiento puro. Su relevancia pronto se hará evidente.

Todos tenemos dos padres, cuatro abuelos, ocho bisabuelos, etc... Con cada generación, el número de ancestros se duplica. Si retrocedemos g generaciones el número de ancestros es 2 multiplicado por sí mismo g veces: 2 elevado a la potencia de g . El problema es que, sin abandonar nuestro sillón, podemos ver rápidamente que esto no es posible. Para convencernos de ello, sólo tenemos que ir un poco hacia atrás, digamos, por ejemplo, hasta la época de Jesús, hace casi exactamente dos mil años. Si asumimos, conservadoramente, cuatro generaciones por siglo —es decir, que la gente tiene hijos como media a la edad de veinticinco años— dos mil años asciende a unas ochenta generaciones. La

cifra real es probablemente superior (hasta épocas recientes muchas mujeres tenían hijos extremadamente jóvenes), pero éste es sólo un cálculo de sillón, aunque la idea se capta sin tener en cuenta esos detalles. Dos multiplicado por sí mismo ochenta veces es un número formidable, un uno seguido de veinticuatro ceros, un billón de billones. Tuviste un millón de millones de millones de millones de ancestros que fueron contemporáneos de Jesús, ¡y yo también!; pero la población total del mundo en aquella época era una fracción de una fracción despreciable del número de ancestros que acabamos de calcular.

Obviamente, nos hemos equivocado en algo, pero ¿en qué? Hicimos bien el cálculo. Nuestro único error fue asumir la duplicación en cada generación. En efecto, nos olvidamos de que los primos se casan. Yo asumí que cada uno de nosotros tiene ocho bisabuelos. Pero cualquier hijo de un matrimonio entre primos hermanos tiene sólo seis bisabuelos, porque los abuelos compartidos de los primos son bisabuelos de los hijos por dos vías diferentes. ¿Y qué?, podría preguntar. La gente ocasionalmente se casa con sus primos (la mujer de Charles Darwin, Emma Wedgwood, era su prima hermana), pero seguro que no sucede con la suficiente frecuencia como para suponer una diferencia. Sí, lo hace, porque para lo que nos ocupa, « primo » incluye primos segundos, primos quintos, primos decimosextos y así sucesivamente. Cuando cuentas primos tan distantes como éstos, todo matrimonio es un matrimonio entre primos. A veces oyes a la gente presumiendo de ser primo lejano de la reina, lo que resulta bastante pomposo, porque todos nosotros somos primos lejanos de la reina, y de todos los demás, por más rutas de las que se podrían explorar. Lo único que hace especial a la realeza y a los aristócratas es que ellos pueden hacer el seguimiento explícito del rastro. Como dijo el decimocuarto conde de Home, después de que su oponente político se burlara de su título, « supongo que el Sr. Wilson, si uno piensa en ello, es el decimocuarto Sr. Wilson » .

La conclusión de todo esto es que somos primos mucho más cercanos unos de otros de lo que normalmente pensamos y tenemos muchos menos ancestros de lo que sugieren los cálculos simples. Tratando de que reflexionara siguiendo estas líneas, una vez le pedí a una alumna que hiciera una conjetura razonable de la época en la que podría haber vivido el ancestro común más reciente que nosotros dos compartíamos. Mirándome fijamente a la cara, replicó sin dudar con un acento pausado y rural, « en tiempos de los simios » . Un salto intuitivo excusable, pero falso en un diez mil por 100. Eso sugeriría una separación medida en millones de años. La verdad es que el ancestro común más reciente que ella y yo compartimos probablemente habría vivido no hace más de un par de siglos, posiblemente bastante después de Guillermo el Conquistador. Es más, con seguridad, nosotros éramos primos por muchas vías simultáneamente.

El modelo de ascendencia que condujo a nuestro cálculo del número de ancestros erróneamente inflado era un árbol eternamente ramificado,

ramificándose y ramificándose más y más. Si lo ponemos cabeza abajo tenemos un modelo de árbol de la descendencia igualmente erróneo. Un individuo típico tiene dos hijos, cuatro nietos, ocho bisnietos y así hasta imposibles billones de descendientes unos cuantos siglos más adelante. Un modelo de ascendencia y descendencia mucho más realista es el fluyente río de genes que introducimos en el capítulo anterior. Limitados por sus riveras, los genes son un caudal incesante que corre a través del tiempo. Las corrientes se arremolinan separándose y se juntan de nuevo a medida que los genes se entrecruzan en su descenso por el río del tiempo. Extrae un cubo en puntos espaciados a intervalos a lo largo del río. Las parejas de moléculas del cubo habrán sido compañeras antes, a intervalos durante su descenso del río y serán compañeras de nuevo. También han estado ampliamente separadas en el pasado y lo estarán otra vez. Es difícil trazar los puntos de contacto, pero podemos estar matemáticamente seguros de que los contactos suceden; matemáticamente seguros de que si dos genes pierden el contacto en un punto en particular, no tendremos que viajar lejos en cualquiera de los dos sentidos a lo largo del río hasta que se toquen de nuevo.

Podrías desconocer que eres prima de tu marido, pero es estadísticamente probable que no tengas que ir muy lejos en tu genealogía para encontrar una confluencia con su linaje. Mirando en la otra dirección, hacia el futuro, podría parecer obvio que tienes bastantes posibilidades de compartir descendientes con tu marido o mujer. Pero hay una reflexión mucho más fascinante. La próxima vez que estés rodeado de gente —digamos en un concierto o en un partido de fútbol— mira a los espectadores que hay a tu alrededor y piensa en lo siguiente: si en el futuro distante todavía tienes algún descendiente, probablemente hay personas en el mismo concierto cuyas manos podrías estrechar como coancestros de tus futuros descendientes. Los coabuelos de los mismos niños normalmente saben que son coancestros y esto debe darles una cierta sensación de afinidad, tanto si se llevan bien personalmente como si no. Pueden mirarse el uno al otro y pensar: « Bueno, es posible que no me guste mucho, pero su ADN está mezclado con el mío en nuestros nietos compartidos y podemos esperar compartir descendientes en el futuro, mucho después de que ambos nos hayamos ido. Con seguridad esto crea un vínculo entre nosotros». Mi idea es que, si eres bendecido con algún descendiente lejano, algunos de los perfectos desconocidos de ese concierto probablemente serán tus coancestros. Puedes inspeccionar el auditorio y especular sobre qué individuos, hombres o mujeres, están destinados a compartir tus descendientes y cuáles no. Tú y yo, quien quiera que seas y cualquiera que sea tu sexo y color, bien podríamos ser coancestros. Tu ADN podría estar destinado a mezclarse con el mío. ¡Saludos!

Ahora supongamos que hacemos un viaje en la máquina del tiempo, quizá hasta una multitud en el Coliseo, o más atrás hasta el día de mercado de Ur, o incluso más lejos todavía. Inspecciona la multitud tal y como hemos imaginado

para los espectadores de nuestro concierto moderno. Date cuenta de que puedes dividir a estos individuos, muertos hace mucho tiempo, en dos categorías y sólo en dos: los que son tus ancestros y los que no lo son. Esto es bastante obvio, pero hemos topado con una notable verdad. Si nuestra máquina del tiempo nos ha llevado lo suficientemente lejos hacia atrás, podemos dividir a los individuos que nos encontremos entre aquellos que son ancestros de todos los humanos vivos en 1995 y aquellos que no son ancestros de nadie que viva en 1995. No hay puntos intermedios. Cada individuo sobre el que pones los ojos cuando sales de la máquina del tiempo o es un ancestro humano universal o no es ancestro de nadie en absoluto.

Este es un pensamiento fascinante, pero es trivialmente sencillo de demostrar. Todo lo que hay que hacer es mover la máquina del tiempo mental hacia atrás hasta una época absurdamente lejana: pongamos hace trescientos cincuenta millones de años, cuando nuestros ancestros eran peces de aletas lobuladas con pulmones emergiendo del agua y convirtiéndose en anfibios. Si un pez en particular es mi ancestro, es inconcebible que no sea también el tuyo. Si no lo es, esto implicaría que el linaje que conduce hasta ti y el que conduce hasta mí evolucionaron independiente e irreversiblemente, de pez pasando por anfibio, reptil, mamífero, primate, simio y homínido, terminando tan similares que podemos hablar entre nosotros y si somos de sexos opuestos apareamos. Lo que es cierto para ti y para mí es cierto para cualquier par de seres humanos.

Hemos demostrado que si viajamos lo suficientemente lejos en el tiempo, todo individuo que nos encontremos debe ser el ancestro de todos nosotros o bien de ninguno. Pero ¿cuánto es lo suficientemente lejos? Evidentemente, no tenemos que retroceder hasta los peces de aletas lobuladas —esto era una *reductio ad absurdum*— pero ¿cuánto tenemos que retroceder hasta que lleguemos a un ancestro universal de todos y cada uno de los humanos vivos en 1995? Esta es una pregunta mucho más difícil y es la próxima sobre la que quiero centrar mi atención, pues no se puede contestar desde el sillón. Necesitamos información real, medidas que provengan del implacable mundo de los hechos concretos.

Sir Ronald Fisher, el formidable genetista y matemático inglés que podría ser considerado el más grande sucesor de Darwin del siglo XX, además del padre de la estadística moderna, decía en 1930:

Sólo las barreras geográficas y otras barreras contra las relaciones sexuales entre diferentes razas... son las que evitan que la humanidad al completo haya tenido, a partir de los últimos mil años, una ascendencia prácticamente igual. La ascendencia de los miembros de la misma nación puede diferir muy poco más allá de los últimos 500 años; a los 2000 años, las únicas diferencias que parecen perdurar serían aquellas entre razas etnográficas distintas; éstas... podrían efectivamente ser extremadamente

antiguas; pero sólo se daría este caso si, durante largos periodos, la difusión de la sangre entre los grupos separados hubiera sido casi inexistente.

En términos de nuestra analogía fluvial, Fisher está, en efecto, haciendo uso del hecho de que los genes de todos los miembros de una raza unida geográficamente están fluyendo a lo largo del mismo río. Pero cuando se trata de sus cifras reales —quinientos años, dos mil años de antigüedad de la separación entre las diferentes razas— Fisher tenía que estar haciendo conjeturas; en aquella época los hechos relevantes no estaban disponibles. Ahora, con la revolución de la biología molecular, hay un auténtico aluvión de ellos. Es la biología molecular la que nos ha proporcionado a la sugerente Eva africana.

El río digital no es la única metáfora a la que se ha recurrido. Es tentador hacer el símil del ADN que cada uno de nosotros poseemos con una Biblia familiar. El ADN es un trozo muy largo de texto, escrito, como vimos en el anterior capítulo, en un alfabeto de cuatro letras. Las letras han sido escrupulosamente copiadas de las de nuestros ancestros, y sólo de las suyas, con extraordinaria fidelidad incluso en el caso de ancestros muy remotos. Sería posible, mediante la comparación de los textos conservados en diferentes personas, reconstruir su parentesco y trabajar hacia atrás hasta un ancestro común. Los primos lejanos, cuyo ADN ha tenido más tiempo para divergir —digamos los noruegos y los aborígenes australianos— deberían diferir en un mayor número de palabras. Los estudiosos hacen este mismo tipo de análisis con diferentes versiones de los documentos bíblicos. Desafortunadamente, en el caso de los archivos de ADN hay un inconveniente: el sexo.

El sexo es la pesadilla de un archivista. En vez de dejar intactos los textos ancestrales, excepto por algún inevitable error ocasional, el sexo se entromete gratuita y enérgicamente y destruye las pruebas. Ningún gamberro ha arremetido contra una tienda de porcelana con la misma violencia con la que el sexo arremete contra los archivos de ADN. No hay nada semejante en las investigaciones sobre la Biblia. Hay que reconocer que un estudioso que indaga en los orígenes de, por ejemplo, el Cantar de los Cantares de Salomón es consciente de que no es exactamente lo que parece. El texto tiene pasajes extrañamente inconexos que sugieren que en realidad es un compendio de fragmentos de varios poemas distintos, sólo algunos de ellos eróticos, cosidos los unos a los otros. Contiene errores —mutaciones— especialmente en la traducción. «Cazadnos las raposas, las pequeñas raposas, que echan a perder las viñas» es una mala traducción, incluso aunque la repetición a lo largo de la historia le haya dado un personal sabor cinégetico que es poco probable que encaje con el más correcto «Cazadnos a los murciélagos de la fruta, los pequeños murciélagos de la fruta...» :

Porque he aquí que ha pasado el invierno, la lluvia cesó y se fue. Han brotado las flores en la tierra; el tiempo de la canción ha llegado y en nuestro país se ha oído la voz de la tortuga.

La poesía es tan deslumbrante que me cuesta estropearla haciendo notar que también aquí hay una indudable mutación. Inserta «paloma» antes de «tortuga», como hacen correcta aunque tristemente las traducciones modernas, y escucha cómo la cadencia se derrumba^[11]. Aun así, estos son errores menores, las inevitables y ligeras degradaciones que tenemos que dar por supuestas cuando los documentos no están impresos a miles o grabados sobre discos de ordenador de alta fidelidad, sino que son copiados y recopiados por amanuenses mortales a partir de papiros escasos y vulnerables.

Pero ahora permitamos que el sexo entre en escena (aunque en el sentido que yo pretendo el sexo no entra en el Cantar de los Cantares). El sexo, en el sentido que pretendo, equivale a extraer la mitad de un documento en forma de fragmentos escogidos al azar y mezclarlo con la mitad troceada de forma complementaria de otro documento. Por increíble, incluso por vandálico, que suene esto es exactamente lo que sucede siempre que se crea una célula sexual. Por ejemplo, cuando un hombre produce una célula espermática, los cromosomas que heredó de su padre se emparejan con los cromosomas que heredó de su madre y grandes trozos de ellos se cambian el sitio. Los cromosomas de un niño son un irrecuperable y revuelto batiburrillo de los cromosomas de sus abuelos y así hacia atrás hasta los ancestros lejanos. De estos metafóricos textos antiguos, quizá las letras o las palabras podrían sobrevivir intactas a lo largo de las generaciones. Pero los capítulos, las páginas e incluso los párrafos están arrancados y recombinados con una eficiencia tan implacable que son prácticamente inútiles como medio de seguirle la pista a la historia. En lo que respecta a la historia ancestral, el sexo es la gran tapadera.

Podemos utilizar los archivos de ADN para reconstruir la historia siempre y cuando el sexo quede situado convenientemente fuera de escena. Se me ocurren dos ejemplos importantes. Uno es la Eva africana, y llegaremos a ella. El otro es la reconstrucción de la ascendencia más remota —examinando las relaciones entre las especies más que dentro de ellas—. Como vimos en el capítulo anterior, la mezcla sexual sólo tiene lugar dentro de las especies. Cuando una especie parental produce una especie hija, el río de los genes se separa en dos ramas. Después de que hayan divergido durante suficiente tiempo, la mezcla sexual dentro de cada río, lejos de ser un estorbo para el archivista genético, le ayuda realmente en la reconstrucción de la ascendencia y el parentesco entre las especies. El sexo desordena las pruebas únicamente si hablamos de parentesco dentro de las especies. En lo que respecta al parentesco entre especies distintas, el sexo ayuda porque automáticamente tiende a asegurar que cada individuo sea

una buena muestra genética de la especie entera. No importa qué cubo extraigas de un río bien revuelto, será representativo del agua de ese río.

Los textos de ADN tomados de representantes de diferentes especies han sido comparados letra por letra y con gran éxito, para construir árboles familiares de especies. De acuerdo con una influyente escuela de pensamiento, es posible incluso poner fecha a las ramificaciones. Esta posibilidad deriva de la noción, todavía controvertida, del «reloj molecular»: la presunción de que en cualquier región del texto genético las mutaciones aparecen en una proporción constante por millón de años. Volveremos a la hipótesis del reloj molecular en un momento.

El «párrafo» de nuestros genes que describe la proteína llamada citocromo c tiene 339 letras. Doce cambios de letra separan el citocromo c humano del citocromo c de los caballos, nuestros primos bastante lejanos. Un solo cambio de letra separa a los humanos de los monos (nuestros primos francamente cercanos), un cambio de letra separa a los caballos de los burros (sus primos muy cercanos) y tres cambios separan a los caballos de los cerdos (de alguna manera primos más lejanos). Cuarenta y cinco cambios de letra separan a los humanos de las levaduras y el mismo número separa a los cerdos de las levaduras. No es sorprendente que este número sea el mismo, porque a medida que ascendemos, el río que conduce a los humanos se une con el que conduce a los cerdos mucho antes de la conjunción del río común de ambos con el que conduce a las levaduras. Sin embargo, hay un pequeño desajuste en estas cifras. El número de cambios de letra en el citocromo c que separa a los caballos de las levaduras no es cuarenta y cinco sino cuarenta y seis. Esto no significa que los cerdos sean primos más cercanos de las levaduras que los caballos. Están exactamente a la misma distancia de las levaduras, puesto que ambos son vertebrados y desde luego ambos son animales. Quizá se introdujo un cambio extra en el linaje que conduce a los caballos desde los tiempos del ancestro bastante reciente que comparten con los cerdos. Esto no es importante. Globalmente, el número de cambios de letra del citocromo c que separa pares de criaturas se ajusta bastante bien a lo que podríamos predecir partiendo de nuestras ideas previas sobre el modelo de ramificación del árbol evolutivo.

La teoría del reloj molecular, tal y como la conocemos, mantiene que la tasa de cambio de un pedazo concreto de texto por millón de años es bastante fija. De los cuarenta y seis cambios en una letra del citocromo c que separan a los caballos de las levaduras se asume que cerca de la mitad de los mismos tuvieron lugar durante la evolución desde el ancestro común hasta los caballos modernos y la otra mitad durante la evolución desde el ancestro común hasta las levaduras modernas (obviamente, las dos sendas evolutivas han tardado ser recorridas exactamente el mismo número de millones de años). Al principio nos parece algo sorprendente de asumir; después de todo, es bastante posible que el ancestro

común recordara más a una levadura que a un caballo. La reconciliación descansa en la premisa, cada vez más aceptada desde que fue abanderada por primera vez por el eminente genetista japonés Motoo Kimura, de que la mayor parte de los textos genéticos puede cambiar libremente sin que esto afecte al significado del texto.

Una buena analogía es cambiar la tipografía en una frase impresa. «Un caballo es un **mamífero**». «Una levadura es un **hongo**». El significado de estas frases nos llega alto y claro, incluso aunque cada palabra esté impresa con un tipo de letra distinto. El reloj molecular avanza en forma de cambios de tipo de letra sin sentido a medida que pasan los millones de años. Los cambios que están sujetos a selección natural y que reflejan la diferencia entre un caballo y una levadura —los cambios en el *significado* de las frases— son la punta del iceberg.

Algunas moléculas tienen un reloj más veloz que otras. El citocromo c evoluciona relativamente despacio: alrededor de un cambio en una letra cada veinticinco millones de años. Esto se debe probablemente a que la vital importancia del citocromo c para la supervivencia de un organismo depende críticamente de su forma detallada. La mayoría de los cambios en una molécula que posee una forma tan crítica no son tolerados por la selección natural. Otras proteínas, como las llamadas fibrinopéptidos, aunque son importantes, trabajan igual de bien en muchas y variadas formas. Los fibrinopéptidos son utilizados en la coagulación de la sangre y puedes cambiar la mayoría de sus detalles sin dañar su capacidad de coagulación. La tasa de mutación de estas proteínas es aproximadamente de un cambio cada seiscientos mil años, una tasa más de cuarenta veces más rápida que la del citocromo c. Por esta razón, los fibrinopéptidos no sirven para reconstruir la antigua ascendencia aunque son útiles para reconstruir la más reciente, por ejemplo, dentro de los mamíferos. Hay cientos de proteínas diferentes que cambian cada una a su propio ritmo característico por millón de años y cada una de ellas es individualmente útil para reconstruir árboles familiares. Todas producen más o menos el mismo árbol familiar, el cual, por cierto, constituye una prueba bastante concluyente, si es que fuera necesaria, de que la teoría de la evolución es cierta.

Llegamos a esta discusión partiendo de la idea de que la mezcla sexual enturbia el archivo histórico. Distinguimos dos formas en las que los efectos del sexo podían ser eludidos. Acabamos de tratar una de ellas que se deriva del hecho de que el sexo no mezcla genes entre especies. Esto abre la posibilidad de utilizar las secuencias de ADN para reconstruir los árboles familiares remotamente lejanos de aquellos de nuestros ancestros que vivieron mucho antes de que nos convirtiéramos en humanos reconocibles. Pero ya hemos aceptado que si retrocedemos tanto los humanos somos en definitiva todos descendientes del mismo y único individuo. Queríamos averiguar cuán recientemente podríamos todavía reivindicar descendencia común con todos los otros humanos.

Para descubrirlo, tenemos que recurrir a una evidencia de ADN diferente. Aquí es donde la Eva africana se incorpora al relato.

La Eva africana es llamada en ocasiones Eva mitocondrial. Las mitocondrias son diminutos cuerpos con forma de cápsula que abarrotan por millares cada una de nuestras células. Básicamente están vacías, pero tienen una complicada estructura interior de crestas membranosas. El área que ofrecen estas membranas es mucho mayor de lo que se podría deducir por la apariencia exterior de la mitocondria, y se utiliza toda ella. Las membranas son las líneas de producción de una fábrica química, de una central de energía, para ser más precisos. Una reacción en cadena cuidadosamente controlada está prendida a lo largo de la membrana: una reacción en cadena que implica más pasos que los de cualquier factoría química humana. El resultado es que la energía, que tiene su origen en las moléculas de alimento, es liberada en pasos controlados y almacenada en forma reutilizable para ser quemada más tarde, siempre que se necesite, en cualquier parte del cuerpo. Sin nuestras mitocondrias moriríamos en un segundo.

Esto es lo que hacen las mitocondrias, pero en este momento nos interesa más saber de dónde vienen. En sus orígenes, en la antigua historia evolutiva, eran bacterias. Esta es la extraordinaria teoría defendida por la formidable Lynn Margulis de la Universidad de Massachusetts en Amherst, teoría que partió de comienzos heterodoxos, pasó por un mezquino interés y llegó hasta la triunfal y casi universal aceptación actual. Hace dos mil millones de años, los antepasados remotos de las mitocondrias eran bacterias de vida libre. Junto con otras bacterias de distintos tipos se alojaron dentro de células más grandes. La comunidad resultante de bacterias («procarióticas») se convirtió en la gran célula («eucariótica») que conocemos como propia. Cada uno de nosotros es una comunidad de cientos de millones de millones de células eucarióticas mutuamente dependientes; y cada una de esas células es una comunidad de miles de bacterias domesticadas en un sentido especial, completamente encerradas dentro de la célula, donde se multiplican como lo harían las bacterias. Se ha calculado que si todas las mitocondrias de un solo cuerpo humano fueran colocadas una al lado de la otra rodearían la Tierra no una sino doscientas veces. Una sola planta o animal es una enorme comunidad de comunidades empaquetadas en estratos que interactúan como una selva tropical. La selva misma es una comunidad abarrotada con quizá diez millones de especies de organismos, en la que cada miembro individual de cada una de las especies es a su vez una comunidad de comunidades de bacterias domesticadas. La teoría de los orígenes de la doctora Margulis —la célula como un jardín amurallado de bacterias— no sólo es incomparablemente más inspiradora, excitante y edificante que el relato del Jardín del Edén; tiene la ventaja adicional de ser casi absolutamente cierta.

Ahora, como la mayoría de los biólogos, asumo la verdad de la teoría de Margulis y en este capítulo sólo la menciono para desarrollar una implicación particular: las mitocondrias tienen su propio ADN, confinado en un único cromosoma circular, como sucede en otras bacterias. Y ahora vayamos a la idea a la que todo esto nos ha ido llevando. El ADN mitocondrial no participa en ninguna mezcla sexual, ni con el ADN «nuclear» principal del cuerpo ni con el ADN de otras mitocondrias. Las mitocondrias, como muchas bacterias, se reproducen sencillamente dividiéndose. Siempre que una mitocondria se divide en dos hijas, cada una de ellas obtiene una copia idéntica —salvo infrecuentes mutaciones— del cromosoma original. Ahora podemos contemplar su verdadera belleza desde nuestro punto de vista de estudiosos de la genealogía de larga distancia. Descubrimos que, en lo que se refiere a nuestros textos de ADN normales, el sexo revuelve las pruebas en cada generación confundiendo las contribuciones de la línea materna y la paterna. El ADN mitocondrial es benditamente célibe.

Obtenemos nuestras mitocondrias exclusivamente de nuestra madre. Los espermatozoides son demasiado pequeños para contener más que unas pocas mitocondrias; tienen las justas para suministrar la energía que acciona sus colas mientras nadan hacia el óvulo, y estas mitocondrias son desechadas junto con la cola cuando la cabeza del espermatozoide penetra dentro del óvulo durante la fertilización. El óvulo, en comparación, es gigante y su enorme interior lleno de fluidos contiene un rico cultivo de mitocondrias. Este cultivo siembra el cuerpo del niño, de modo que tanto si eres hombre como si eres mujer todas tus mitocondrias descienden de un inóculo inicial de las mitocondrias de tu madre. Tanto si eres hombre como si eres mujer todas tus mitocondrias son descendientes de las mitocondrias de tu abuela materna. Ninguna de tu padre, ninguna de cualquiera de tus abuelos, ninguna de tu abuela paterna. Las mitocondrias constituyen un archivo independiente del pasado, no contaminado por el ADN nuclear principal que tiene la misma probabilidad de provenir de cada uno de tus cuatro abuelos, cada uno de tus ocho bisabuelos y así hacia atrás.

El ADN mitocondrial no está contaminado pero no es inmune a la mutación —a los errores aleatorios durante el proceso de copia—. De hecho, muta en una proporción más alta que nuestro ADN «propio», porque (como sucede en todas las bacterias) carece de la sofisticada maquinaria correctora que nuestras células han desarrollado mediante la evolución a lo largo de los eones. Habrá unas cuantas diferencias entre tu ADN mitocondrial y el mío, y su número será una medida del tiempo que ha pasado desde que nuestros ancestros divergieron. No cualquiera de nuestros ancestros, sino los que están en la línea mujer, mujer, mujer... Si tu madre resulta que es una nativa australiana pura, o una china pura, o una kung san del Kalahari pura, habrá bastantes diferencias entre tu ADN mitocondrial y el mío. No importa quién sea tu padre: por lo que respecta a las

diferencias en tus mitocondrias con las que él contribuye, bien podría ser un marqués británico o un jefe sioux. Y lo mismo es aplicable a tus ancestros masculinos, siempre.

Así que hay una Apócrifa mitocondrial separada, transmitida junto con la Biblia familiar principal, pero dotada de la gran virtud de que viaja sólo por la línea femenina. Esta no es una idea sexista; sería igual de buena si viajara sólo por la línea masculina. La virtud radica en su integridad, en que no está siendo troceada y fusionada en cada generación. Esta descendencia consistente por vía de cualquiera de los dos sexos, pero no de ambos, es lo que necesitamos como estudiosos de la genealogía del ADN. El cromosoma Y que, como el primer apellido, sólo se transmite por la línea masculina, sería en teoría igual de bueno, pero contiene demasiada poca información para que resulte útil. La Apócrifa mitocondrial es ideal para poner fecha a los ancestros comunes dentro de una especie.

El ADN mitocondrial ha sido explotado por un grupo de investigadores asociados al difunto Allan Wilson, de la Universidad de Berkeley, en California. En los años ochenta, Wilson y sus colegas tomaron muestras de las secuencias de 135 mujeres vivas escogidas por todo el mundo: aborígenes australianas, habitantes de las tierras altas de Nueva Guinea, nativas americanas, europeas, chinas y representantes de varios pueblos africanos. Estudiaron el número de diferencias en las letras que separaban a cada una de las mujeres de cada una de las otras. Suministraron esas cifras a un ordenador y le pidieron que construyera el más parsimonioso de los árboles familiares que pudiera encontrar. Aquí «parsimonioso» significa el que elimina al máximo la necesidad de establecer postulados que den cuenta de las coincidencias. Esto requiere cierta explicación.

Recapitemos nuestra anterior discusión acerca de los caballos, los cerdos y las levaduras, y el análisis de las secuencias de letras del citocromo c. Recordarás que los caballos difieren de los cerdos sólo en tres de esas letras, los cerdos difieren de las levaduras en cuarenta y cinco letras y los caballos difieren de estas últimas en cuarenta y seis letras. Llegamos a la conclusión de que, teóricamente, si los caballos y los cerdos están vinculados entre sí por un ancestro común relativamente reciente deberían estar a la misma distancia de las levaduras. La diferencia entre cuarenta y cinco y cuarenta y seis es una anomalía, algo que no aparecería en un mundo ideal. Puede deberse a una mutación adicional en la ruta hasta los caballos o a una mutación inversa en la ruta hasta los cerdos.

Ahora bien, por absurda que sea en la realidad una idea como ésta, teóricamente es concebible que los cerdos estén verdaderamente más cerca de las levaduras que de los caballos. Es teóricamente posible que los cerdos y los caballos hayan evolucionado su estrecho parecido mutuo (sus textos de citocromo c están separados tan sólo por tres letras y sus cuerpos están

básicamente contruidos siguiendo un modelo mamífero casi idéntico) por una enorme coincidencia. La razón de que no creamos esto es que los aspectos en los que los cerdos se parecen a los caballos superan ampliamente en número a los aspectos en los que los cerdos se parecen a las levaduras. Hay que admitir que hay una sola letra de ADN en la que los cerdos parecen estar más cerca de las levaduras que de los caballos, pero ésta queda enterrada por una avalancha de millones de semejanzas en el otro sentido. El argumento está basado en la parsimonia. Si asumimos que los cerdos están cerca de los caballos sólo necesitamos encajar una semejanza casual. Si intentamos asumir que los cerdos están cerca de las levaduras tenemos que postular una concatenación prodigiosamente irrealista de semejanzas casuales adquiridas de forma independiente.

En el caso de los caballos, los cerdos y las levaduras, el razonamiento de la parsimonia es demasiado aplastante como para ponerlo en duda. Pero no hay nada aplastante en las semejanzas en el ADN mitocondrial de las diferentes razas humanas. El principio de la parsimonia todavía es aplicable, pero contamos con argumentos ligeros y cuantitativos, no enormes e irrefutables. Esto es lo que en teoría tiene que hacer el ordenador: tiene que hacer una lista de todos los posibles árboles familiares que relacionen a las 135 mujeres. Después debe examinar este conjunto de árboles y elegir el más parsimonioso de todos —es decir, el que reduce al mínimo el número de semejanzas casuales—. Debemos aceptar que incluso el mejor árbol de todos nos forzará probablemente a aceptar unas cuantas coincidencias, de la misma forma que nos vimos obligados a aceptar el hecho de que, por una letra de ADN, las levaduras están más cerca de los cerdos que de los caballos. Pero, al menos en teoría, el ordenador debería ser capaz de no darle mucha importancia y anunciarnos cuál de los muchos árboles posibles es el más parsimonioso, el menos guiado por la coincidencia.

Eso es en teoría. En la práctica hay una pega. El número de árboles posibles es más grande del que tú, yo o cualquier matemático podríamos imaginar. Para los caballos, los cerdos y las levaduras sólo hay tres y obviamente el correcto es: [[cerdo caballo] levadura], con los cerdos y los caballos acurrucados juntos dentro de la intimidad de los corchetes y las levaduras como el « grupo externo» no relacionado. Los otros dos árboles teóricos son [[cerdo levadura] caballo] y [[caballo levadura] cerdo]. Si añadimos una cuarta criatura —digamos, por ejemplo, el calamar— el número de árboles aumenta hasta quince. No listaré los quince, pero el verdadero (el más parsimonioso) es [[[cerdo caballo] calamar] levadura]. Una vez más, los cerdos y los caballos, como parientes cercanos, están acogedoramente acurrucados juntos en la intimidad de los corchetes. El calamar es el siguiente a ingresar en el club, ya que tiene un ancestro más reciente que las levaduras dentro del linaje cerdo/caballo. Cualquiera de los otros catorce árboles —por ejemplo, [[cerdo calamar] [caballo levadura]]— es

definitivamente menos parsimonioso. Es altamente improbable que las numerosas semejanzas entre los cerdos y los caballos hubieran podido evolucionar independientemente si los cerdos fueran en realidad primos más cercanos de los calamares y los caballos lo fueran de las levaduras.

Si tres criaturas producen tres árboles posibles y cuatro criaturas producen quince, ¿cuántos árboles posibles se podrían construir partiendo de ciento treinta y cinco mujeres? La respuesta es un número tan absurdamente grande que no merece la pena ponerlo por escrito. Si la computadora más grande y rápida del planeta se pusiera a trabajar listando todos los árboles posibles, el fin del mundo se nos echaría encima antes de que hubiera hecho algún progreso perceptible en la tarea.

Sin embargo, el problema no es irresoluble. Estamos acostumbrados a domesticar números extremadamente grandes mediante juiciosas técnicas de muestreo. No podemos contar los insectos que hay en la Cuenca Amazónica, pero podemos estimar su número tomando muestras de pequeñas parcelas escogidas al azar por toda la selva y asumiendo que estas parcelas son representativas. Nuestro ordenador no puede examinar todos los árboles posibles que unen a estas 135 mujeres pero puede extraer aleatoriamente muestras del conjunto de todos los árboles posibles. Si siempre que sacas una muestra, de los gigabillones de árboles posibles, te das cuenta de que los miembros más parsimoniosos de la muestra tienen ciertas características en común, puedes concluir que probablemente el más parsimonioso de todos los árboles tiene esas mismas características.

Esto es lo que algunas personas han hecho. Pero no resulta necesariamente obvio cuál es la mejor manera de hacerlo. Igual que los entomólogos podrían no estar de acuerdo con la forma más representativa de tomar muestras de la selva brasileña, los estudiosos de la genealogía de ADN han utilizado diferentes métodos de muestreo; y, desafortunadamente, los resultados no siempre coinciden. Sin embargo, por lo que valen, yo presentaré las extremadamente interesantes y estimulantes conclusiones a las que llegó el grupo de Berkeley mediante su análisis inicial del ADN mitocondrial humano. Según ellos, el árbol más parsimonioso resulta estar firmemente enraizado en África. Esto significa que algunos africanos están emparentados más lejanamente con otros africanos que con cualquiera procedente del resto del mundo. El resto del mundo —los europeos, los nativos americanos, los australianos, los chinos, los habitantes de Nueva Guinea, los inuits y demás— forman un grupo relativamente cerrado de primos. Algunos africanos pertenecen a este grupo, pero otros no. Según estos análisis el árbol más parsimonioso sería algo así: [algunos africanos [otros africanos [otros africanos más [otros africanos más y el resto de la gente]]]]. Por ello, concluyeron que la gran antecesora de todos nosotros vivió en África: «La Eva africana». Como he dicho, esta conclusión suscita controversia. Otros han

afirmado que se pueden encontrar árboles igualmente parsimoniosos en los que las ramas más remotas se sitúan fuera de África. También afirman que el grupo de Berkeley obtuvo esos resultados tan particulares en parte como consecuencia del orden en el que su computadora examinó los posibles árboles. Obviamente, el orden de examen no debería importar. Probablemente, la mayoría de los expertos todavía apostarían su dinero a que la Eva mitocondrial es africana, pero no lo harían con gran confianza.

La segunda conclusión del grupo de Berkeley es menos controvertida. No importa dónde viviera la Eva mitocondrial, ellos fueron capaces de estimar cuándo. Se conoce la rapidez con la que evoluciona el ADN mitocondrial; por tanto, puedes datar aproximadamente cada uno de los puntos de ramificación del árbol de divergencia del ADN mitocondrial. Y el punto de ramificación que une a todas las mujeres —el nacimiento de la Eva mitocondrial— tuvo lugar hace entre ciento cincuenta mil y un cuarto de millón de años.

Tanto si la Eva mitocondrial era africana como si no lo era, es importante evitar una posible confusión con otro aspecto en el cual es indudablemente cierto que nuestros antecesores vinieron de África. La Eva mitocondrial es un ancestro reciente de todos los humanos modernos; y ella era miembro de la especie *Homo sapiens*. Se han encontrado fósiles de homínidos mucho más antiguos. *Homo erectus*, tanto dentro como fuera de África. Los fósiles de ancestros aún más remotos que *Homo erectus*, como *Homo habilis* y varias especies de *Australopithecus* (incluido uno de más de cuatro millones de años descubierto hace poco), sólo se han encontrado en África. Así que si nosotros somos los descendientes de una diáspora africana que tuvo lugar en algún punto del último cuarto de millón de años, ésta sería la segunda diáspora africana. Hubo un éxodo más temprano, quizá hace un millón y medio de años, en el cual *Homo erectus* se aventuró fuera de África para colonizar partes del Cercano Oriente y Asia. La teoría de la Eva africana no niega que esos tempranos asiáticos existieran, simplemente dice que no dejaron descendencia superviviente. Lo miro como lo miro, todos somos, si retrocedemos dos millones de años, africanos. La teoría de la Eva africana afirma además que los humanos supervivientes somos todos africanos si retrocedemos sólo unos pocos cientos de miles de años. Si nueva evidencia lo sustentara, sería posible seguir todo el ADN mitocondrial moderno hacia atrás hasta una mujer ancestro fuera de África (digamos la «Eva asiática») mientras al mismo tiempo coincidimos en que nuestros antepasados más remotos sólo los vamos a encontrar en África.

Asumamos, por el momento, que el grupo de Berkeley tiene razón y examinemos lo que significa y lo que no significa su conclusión. El apodo de «Eva» ha tenido desafortunadas consecuencias. Algunos entusiastas se han quedado con la idea de que debió haber sido una mujer solitaria, la única mujer sobre la Tierra, el definitivo cuello de botella genético, incluso ¡una

reivindicación del Génesis! Esto es un completo malentendido. No es correcto afirmar que ella era la única mujer en la Tierra, incluso ni siquiera que la población era relativamente pequeña en su época. Sus compañeros, de ambos sexos, podrían haber sido tanto numerosos como fecundos. Ellos podrían tener todavía numerosos descendientes vivos, pero, sin embargo, todos los descendientes de sus mitocondrias se han extinguido debido a que su vínculo con nosotros pasa, en cierto momento, a través de un varón. De la misma forma, un apellido noble (los apellidos están ligados al cromosoma Y y se transmiten sólo por la línea masculina a imagen especular exacta de las mitocondrias) puede extinguirse, pero eso no significa que los poseedores del apellido no tengan descendientes. Podrían tener numerosos descendientes por otras rutas distintas a la ruta sólo-varones. La única afirmación correcta es que la Eva mitocondrial es la mujer más reciente de la cual se puede decir que todos los humanos modernos descienden por la línea sólo-mujeres. Tiene que haber una mujer de la cual se pueda hacer esta afirmación. La única discusión es si vivía aquí o allá, en esta época o en aquélla. El hecho de que vivió, en alguna parte y en alguna época, es cierto.

Hay un segundo malentendido, más corriente, que he oído cometer incluso a científicos punteros que trabajan en el campo del ADN mitocondrial. Es la creencia de que la Eva mitocondrial es nuestro ancestro común más reciente y está basada en la confusión entre «ancestro común más reciente» y «ancestro común más reciente por la línea exclusivamente femenina». La Eva mitocondrial es nuestro ancestro común más reciente por la línea exclusivamente femenina, pero hay muchas otras formas de ser descendiente de alguien además de por la línea femenina, millones de ellas. Retrocedamos a nuestros cálculos del número de ancestros (olvidando la complicación del matrimonio entre primos, que era la idea central de la discusión anterior). Cada uno de nosotros tiene ocho bisabuelos pero sólo uno de ellos está en la línea exclusivamente femenina. Cada uno de nosotros tiene dieciséis tatarabuelos pero sólo uno de ellos está en la línea exclusivamente femenina. Incluso asumiendo que el matrimonio entre primos reduce el número de ancestros en una generación dada, aún es cierto que hay muchas, muchas más formas de ser ancestro que únicamente por la línea sólo-mujeres. A medida que remontamos nuestro río genético a través de la remota antigüedad, hubo probablemente muchas Evas y muchos Adanes —individuos focales de los que se puede decir que todas las personas en 1995 son sus descendientes—. La Eva mitocondrial sólo es uno de ellos. No hay ninguna razón particular para pensar que de todas esas Evas y Adanes la Eva mitocondrial sea la más reciente. Todo lo contrario, ella está definida de una forma particular: hemos descendido de ella por una ruta concreta a través del río de la descendencia.

El número de rutas posibles que podemos colocar junto a la ruta sólo-mujeres

es tan grande que es altamente improbable matemáticamente que la Eva mitocondrial sea la más reciente de todas esas Evas y Adanes. Es especial entre las rutas en un sentido (que es sólo-mujeres). Sería una extraordinaria coincidencia si también fuera especial entre las rutas en otro sentido (que fuera la más reciente).

Un asunto adicional de interés menor es que, en cierto modo, es más probable que nuestro ancestro común más reciente haya sido un Adán que una Eva. Los harenes de mujeres son más frecuentes que los harenes de varones, aunque sólo sea porque ellos son físicamente capaces de tener cientos de hijos, incluso miles. El Libro Guinness sitúa el récord, conseguido por Moulay Ishmael el Sediento de Sangre, en cerca de mil hijos. (Casualmente, Moulay Ishmael bien podría haber sido adoptado por las feministas como el símbolo general de la repugnancia del « macho ». Se dice que su método de equitación consistía en sacar su espada y saltar sobre la silla de montar decapitando simultáneamente al esclavo que sostenía la brida y consiguiendo así una rápida liberación. Por inverosímil que parezca, el hecho de que su leyenda llegue hasta nosotros, junto con la reputación de haber matado a diez mil hombres con sus propias manos, nos da quizá una idea del tipo de cualidades que eran admiradas entre los hombres de su clase). Las mujeres, incluso en condiciones ideales, no pueden tener más de un par de decenas de hijos. Una hembra tiene más probabilidades que un macho de tener el promedio de hijos. Unos pocos machos pueden acaparar una proporción absurda y codiciosa del reparto de los hijos, lo que significa que otros machos se deben quedar sin ninguno. Si alguien fracasa por completo en la reproducción es más probable que sea un hombre que una mujer, y si alguien cosecha una posteridad desproporcionada es también más probable que sea un hombre. Esto se aplica al más reciente ancestro común de toda la humanidad, quien, por tanto, es más probable que haya sido un Adán que una Eva. Por poner un ejemplo exagerado, ¿quién es más probable que sea el ascendiente de todos los marroquíes actuales, Moulay Ishmael el Sediento de Sangre o una mujer cualquiera de su desafortunado harén?

Podemos llegar a las siguientes conclusiones: Primera, es necesariamente cierto que existió una hembra, a la que podríamos llamar la Eva mitocondrial, que es el ancestro común más reciente de todos los humanos modernos por la ruta sólo-mujeres. También es cierto que existió una sola persona, de sexo desconocido, a la que podríamos llamar el Ancestro Focal, que es el ancestro común más reciente de todos los humanos modernos por cualquier ruta. Tercera, aunque es posible que la Eva mitocondrial y el Ancestro Focal sean uno y el mismo individuo, es extremadamente improbable que así sea. Cuarta, en cierto modo es más probable que el Ancestro Focal fuera un varón que una mujer. Quinta, la Eva mitocondrial muy probablemente vivió hace menos de un cuarto de millón de años. Sexta, hay controversia sobre dónde vivió la Eva mitocondrial,

pero la balanza de la opinión especializada todavía se inclina a favor de África. Únicamente las conclusiones cinco y seis dependen del examen de las pruebas científicas. Las primeras cuatro se pueden deducir mediante razonamientos de sillón a partir de la cultura general.

Pero yo he dicho que los antepasados son la clave para entender la vida misma. El relato de la Eva africana es un microcosmos parroquial y humano de una épica mucho más grandiosa e incomparablemente más antigua. Tendremos que recurrir de nuevo a la metáfora del río de genes, nuestro río del Edén, pero lo seguiremos hacia atrás a través de una escala de tiempo inconmensurablemente más vieja que los miles de años de la legendaria Eva y los cientos de miles de la Eva africana. El río de ADN ha estado fluyendo por nuestros ancestros siguiendo una línea ininterrumpida que se remonta a no menos de tres mil millones de años.



3. Hazlo bien, pero con mesura

El creacionismo tiene un atractivo perdurable y la razón no es difícil de encontrar. No es, por lo menos para la mayoría de la gente con la que tropiezo, debido a un compromiso con la verdad literal del Génesis o con algún otro relato tribal del origen. Lo que ocurre más bien es que las personas descubren por sí mismas la belleza y complejidad del mundo natural y llegan a la conclusión de que «obviamente» debe haber sido diseñado. Aquellos creacionistas que reconocen que la evolución darwiniana proporciona al menos alguna clase de alternativa a su teoría de las Escrituras recurren frecuentemente a una objeción ligeramente más sofisticada: niegan la posibilidad de intermediarios evolutivos. «X debe haber sido diseñado por un Creador», dice la gente, «porque la mitad de X no funcionaría en absoluto. Todas las partes de X deben haber sido reunidas simultáneamente; no pueden haber evolucionado gradualmente». Por ejemplo, el día en el que comencé a escribir este capítulo recibí la carta de un pastor norteamericano que había sido ateo pero que se había convertido después de leer un artículo en el *National Geographic*. Este es un extracto de ella:

El artículo trataba de las sorprendentes adaptaciones ambientales que han desarrollado las orquídeas para poder así propagarse con éxito. Mientras leía, me intrigó particularmente la estrategia reproductiva de una especie que implicaba la cooperación de un macho de avispa. Aparentemente, la flor se parece mucho a la hembra de esta especie de avispa, incluyendo una abertura en el lugar adecuado, de forma que el macho de avispa puede alcanzar durante la cópula el polen que ella produce. Volando hasta la siguiente flor el proceso se repite y de esta manera tiene lugar la polinización cruzada. Lo que hace a la flor atractiva para la avispa es, en primer lugar, que emite feromonas (sustancias químicas específicas muy utilizadas por los insectos para atraer a los individuos del sexo opuesto) idénticas a las de las hembras de la especie. Con cierto interés estudié durante cerca de un minuto la fotografía adjunta. Entonces, sobrecogido, me di cuenta de que para que esa estrategia reproductiva funcionara tenía que ser perfecta desde el principio. Ningún paso previo gradual podría dar cuenta de ella, porque si la

orquídea no se pareciera y oliera como la avispa hembra y no tuviera una abertura adecuada para la copulación, con el polen al alcance exacto del órgano reproductivo de la avispa macho, la estrategia habría sido un completo fracaso.

Nunca olvidaré la sensación de decaimiento que me sobrecogió porque, en ese instante, tuve claro que debe existir algún tipo de Dios de alguna clase o estilo, y que tiene una relación activa con los procesos mediante los cuales nacen las cosas. Comprendí, en resumen, que el Dios creador no era ningún mito antediluviano, sino algo real. Y, para mi pesar, también me di cuenta en ese momento de que debía tratar de averiguar más cosas acerca de ese Dios.

Otros, sin duda, llegan a la religión por caminos diferentes, pero es cierto que mucha gente ha tenido una experiencia similar a la que cambió la vida de este pastor (cuya identidad me reservaré por educación). Han visto o leído acerca de alguna maravilla de la naturaleza y por lo general esto les ha colmado de admiración y de asombro, dejándoles henchidos de reverencia. Más concretamente, como mi corresponsal, han decidido que este fenómeno natural en particular —una tela de araña, el ojo o el ala de un águila, o cualquier otra cosa— no puede haber evolucionado pasando por estadios graduales, puesto que esos estadios intermedios, a medio formar, no habrían servido para nada. El propósito de este capítulo es destruir el argumento de que los mecanismos complejos tienen que ser perfectos para que funcionen. Las orquídeas estaban por casualidad entre los ejemplos favoritos de Charles Darwin y dedicó un libro entero a mostrar cómo el principio de evolución gradual mediante la selección natural consigue superar triunfantemente la dura prueba de explicar «los variados mecanismos mediante los cuales las orquídeas son fertilizadas por insectos».

La clave del razonamiento del pastor descansa en la afirmación de que «para que esa estrategia reproductiva hubiera funcionado tendría que ser perfecta desde el principio: una mejora gradual no daría cuenta de ella». El mismo razonamiento podría aplicarse, como se ha hecho con frecuencia, a la evolución del ojo y volveré sobre ello en el transcurso de este capítulo.

Cuando oigo este tipo de argumento lo que más me impresiona siempre es la seguridad con la que se afirma. Me gustaría preguntar al pastor: ¿Cómo puede usted estar tan seguro de que la orquídea imitadora de avispa (o el ojo, o lo que sea) no funcionaría a menos que todas sus partes fueran perfectas y estuvieran en su sitio? ¿Le ha dedicado, de hecho, un minuto de reflexión al asunto? ¿Sabe usted en realidad lo más mínimo sobre orquídeas o avispas o los ojos con los que éstas miran a sus hembras y a las orquídeas? ¿Qué le autoriza a afirmar que las avispas son tan difíciles de engañar que para que el parecido de las orquídeas funcionara tendría que ser perfecto en todas sus dimensiones?

Recuerda la última vez que te confundiste por causa de un parecido fortuito. Quizá le hiciste señas a una extraña en la calle, confundiéndola con una conocida. Las estrellas de cine tienen sustitutos que se caen del caballo o saltan por un acantilado en su lugar. Normalmente, el parecido entre el especialista y la estrella es extremadamente superficial, pero en la breve secuencia de acción es suficiente para engañar a los espectadores. Los machos humanos son inducidos a la lujuria por las fotografías de una revista. Una fotografía es únicamente tinta impresa sobre un papel. Tiene dos dimensiones, no tres, y la imagen sólo tiene unos cuantos centímetros. Podría ser una caricatura sencilla que consista en unas pocas líneas, más que una representación realista; aun así puede provocar una erección en el hombre. Quizá la imagen fugaz de una hembra es todo lo que una avispa en vuelo rápido puede esperar obtener antes de intentar copular con ella. En cualquier caso, quizá los machos de avispa sólo perciban unos pocos estímulos clave.

Hay muchas razones para pensar que las avispas podrían ser todavía más fáciles de engañar que los humanos. Los espinosos macho ciertamente lo son y los peces tienen cerebros más grandes y mejores ojos que las avispas. Los machos de espinoso tienen el vientre rojo y amenazarán no sólo a otros machos, sino también a muñecos rudimentarios con el «vientre» rojo. Mi viejo maestro Niko Tinbergen, etólogo y ganador del Premio Nobel, cuenta una famosa historia acerca de una furgoneta de correos roja que pasó cerca de la ventana de su laboratorio y cómo todos los machos de espinoso nadaron rápidamente hasta el extremo de la ventana de su pecera y la amenazaron vigorosamente. Las hembras de espinoso que están maduras y repletas de huevos tienen el vientre llamativamente hinchado. Tinbergen descubrió que un muñeco plateado, extremadamente rudimentario, indefinidamente alargado y a nuestros ojos carente de parecido alguno con un espinoso, pero en posesión de un «vientre» bien redondeado, despertaba en los machos la conducta de apareamiento al completo. Experimentos más recientes en la escuela de investigación fundada por Tinbergen han mostrado que la llamada bomba sexual —un objeto con forma de pera, la rellenez personificada pero ni alargado ni parecido a un pez ni siquiera por asomo de la imaginación (humana)— era todavía más efectiva despertando la lujuria de los machos. La «bomba sexual» de los espinosos es un ejemplo clásico de un estímulo supernormal —un estímulo incluso más efectivo que el objeto real—. Como ejemplo adicional, Tinbergen publicó la fotografía de un ostrero tratando de empollar un huevo del tamaño del de un avestruz. Las aves tienen cerebros más grandes y mejor vista que los peces —y *a fortiori* que las avispas—; aun así, los ostreros aparentemente «piensan» que un huevo del tamaño del huevo de un avestruz es un magnífico objeto para la incubación.

Las gaviotas, los gansos y otras aves que anidan en el suelo exhiben una respuesta estereotipada frente a un huevo que ha rodado fuera del nido. Lo

alcanzan y lo traen de vuelta haciéndolo rodar con la parte inferior del pico. Tinbergen y sus estudiantes mostraron que las gaviotas hacen esto no sólo con sus propios huevos sino también con los de gallina y con cualquier cilindro de madera o lata de conserva tirada por los excursionistas. Los pollos de las gaviotas argéneas obtienen alimento pidiéndolo a sus padres; picotean el punto rojo del pico del progenitor estimulándole a regurgitar algunos peces de su prominente buche. Tinbergen y un colega demostraron que una rudimentaria réplica de cartón de la cabeza del progenitor es muy efectiva para provocar la conducta de petición en los jóvenes. En realidad todo lo que hace falta es un punto rojo. En lo que concierne al pollo de gaviota argénea, sus padres son dos puntos rojos. Seguramente verán el resto del cuerpo, pero eso no parece ser importante.

Esta visión aparentemente limitada no es exclusiva de los polluelos. Los adultos de las gaviotas reidoras resultan llamativos por sus oscuras máscaras faciales. Robert Mash, estudiante de Tinbergen, investigó la importancia del antifaz para otros adultos pintando réplicas de madera de la cabeza de una gaviota. Clavó cada una de ellas en el extremo de un palo unido a un motor eléctrico en el interior de una caja, de forma que por control remoto Mash pudiera levantar o bajar la cabeza y girarla a derecha e izquierda. Enterraba la caja cerca de un nido de gaviota y la dejaba allí con la cabeza situada fuera de la vista, segura bajo la arena. Al día siguiente, se colocaba en un escondite cerca del nido y observaba las reacciones de las gaviotas que anidaban en los alrededores cuando la réplica de la cabeza se erguía o giraba a ambos lados. Las aves respondieron a la cabeza y a su giro igual que si se tratara de una gaviota real, aunque sólo era una maqueta en el extremo de un palo de madera, sin cuerpo, ni patas, ni alas, ni cola, silenciosa y sin movimiento a excepción de unas subidas, giros y bajadas robotizadas bastante poco realistas. Aparentemente, para una gaviota reidora un vecino amenazador es poco más que una cara negra incorpórea; no es necesario un cuerpo o unas alas o cualquier otra cosa.

Para introducirse en el escondite de observación, Mash, como generaciones de ornitólogos antes y después que él, explota una limitación del sistema nervioso de las aves que se conoce hace mucho: estas criaturas no son matemáticos natos. Entran dos en el escondite y sólo sale uno. Con este truco, las aves estarán pendientes del escondite, «sabiendo» que alguien ha entrado en él, pero cuando ven salir a alguien «asumen» que ambos han salido. Si un pájaro no puede diferenciar entre una persona y dos, ¿es tan sorprendente que una avispa macho pueda ser engañada por una orquídea que posea un parecido bastante imperfecto con su hembra?

En este sentido, escuchemos una historia más acerca de las aves, y ésta es una tragedia. Las madres pavo son feroces guardianas de sus crías. Necesitan protegerlas de los merodeadores de los nidos como las comadrejas o las ratas carroñeras. La regla de tres que utiliza una madre pavo para reconocer a los

ladrones de nidos es consternadoramente tosca: en las proximidades de tu nido ataca a cualquier cosa que se mueva, a menos que haga ruidos como los de un pollo de pavo. Esto fue descubierto por un zoólogo austriaco llamado Wolfgang Schleidt. Schleidt tuvo una vez una pava que mató salvajemente a todos sus polluelos. La razón era tristemente simple: era sorda. Por lo que respecta al sistema nervioso del pavo, los depredadores son definidos como objetos móviles que no emiten graznidos de cría. Estos polluelos de pavo, aunque parecían polluelos de pavo, se movían como polluelos de pavo y corrían confiadamente hacia su madre como polluelos de pavo, cayeron víctimas de la limitada definición de «depredador» que su madre posee. Ella estaba protegiendo a sus propios hijos contra sí mismos y los masacró a todos.

En un símil entomológico de la trágica historia del pavo, algunas células sensoriales concretas de las antenas de las abejas son sensibles a un único compuesto químico, el ácido oleico (poseen otras células sensibles a sustancias diferentes). Los cadáveres en descomposición de las abejas despiden ácido oleico y éste activa el «comportamiento funerario» de sus compañeras: la retirada de los cuerpos muertos de la colmena. Si un experimentador aplica una gota de ácido oleico sobre una abeja viva, la desdichada criatura es sacada a rastras, pataleando, luchando y obviamente muy viva, para terminar siendo expulsada fuera junto con las muertas.

Los cerebros de los insectos son mucho más pequeños que los de los pavos o los humanos. Los ojos de los insectos, incluso los grandes ojos compuestos de las libélulas, poseen una fracción de la agudeza de nuestros ojos o los de las aves. Dejando esto a un lado, se sabe que los ojos de los insectos ven el mundo de forma completamente diferente a la nuestra. El gran zoólogo austriaco Karl von Frisch descubrió cuando era joven que son ciegos a la luz roja pero que pueden ver, y ven como su tono propio y distintivo, la luz ultravioleta, a la que nosotros somos ciegos. Los ojos de los insectos están mucho más pendientes de algo llamado «oscilación» que, al menos para un insecto en rápido movimiento, parece sustituir parcialmente a lo que nosotros llamaríamos «forma». Se han visto machos de mariposa «cortejando» a las hojas muertas que caen revoloteando de los árboles. Nosotros vemos a una hembra de mariposa como un par de alas grandes que se agitan hacia arriba y hacia abajo. Un macho de mariposa la ve y la corteja como una concentración de «oscilación». Se le puede engañar con una lámpara estroboscópica, que no se mueve sino que simplemente se enciende y se apaga. Si consigues la frecuencia correcta de «oscilación» la tratará como si fuera otra mariposa moviendo sus alas a ese ritmo. Para nosotros las rayas son dibujos estáticos. Para un insecto que pasa volando, las rayas se perciben como «oscilación» y pueden ser imitadas con una lámpara estroboscópica que parpadee al ritmo correcto. El mundo tal y como lo ve el ojo de un insecto es tan extraño para nosotros que hacer

afirmaciones basadas en nuestra propia experiencia cuando discutimos cuán «perfectamente» necesita una orquídea imitar el cuerpo de una hembra de avispa es presunción humana.

Las propias avispas fueron el objeto de un experimento clásico llevado a cabo inicialmente por el gran naturalista francés Jean-Henri Fabre y repetido por varios otros investigadores, incluyendo miembros de la escuela de Tinbergen. La hembra de avispa excavadora regresa a su madriguera llevando consigo a su presa agujoneada y paralizada. La deja fuera de la madriguera mientras ella entra, aparentemente para comprobar que todo está bien antes de reaparecer y arrastrar a la presa al interior. Mientras la avispa está en la madriguera, el experimentador desplaza a la presa a unos pocos centímetros de donde ella la dejó. Cuando vuelve a la superficie, se da cuenta del cambio y rápidamente recoloca a la presa. Después vuelve a meterse en la entrada de la madriguera. Sólo han transcurrido unos pocos segundos desde que inspeccionó el interior de la madriguera. Nosotros pensamos que realmente no hay ninguna razón por la que no deba proceder con el siguiente paso de su rutina, meter dentro a la presa y dar cuenta de ella. Pero su programa ha sido resituado en un paso anterior. Ella, consciente de sus deberes, deja de nuevo a la presa fuera de la madriguera y vuelve dentro para una nueva inspección. El experimentador puede repetir esta farsa cuarenta veces hasta que se aburra. La avispa se comporta como una lavadora que ha sido colocada de nuevo en un paso anterior de su programa y no «sabe» que ya ha lavado esa ropa cuarenta veces sin descanso. El distinguido científico informático Douglas Hofstadter ha acuñado un nuevo adjetivo para etiquetar tales automatismos inflexibles y maquinales, «esfexo» [12] (Sphex es el nombre de uno de los géneros representativos de avispa excavadora). Por tanto, al menos en algunos aspectos, las avispas son fáciles de engañar. Este es un tipo de engaño muy diferente del ideado por la orquídea; sin embargo, debemos tener precaución al utilizar la intuición humana para concluir que «para que una estrategia reproductiva hubiera funcionado tendría que haber sido perfecta desde el principio».

Quizá he hecho demasiado bien mi trabajo de convencerte de que las avispas probablemente son fáciles de engañar y podrías estar albergando una sospecha casi opuesta a la de mi devoto corresponsal. Si la visión de un insecto es tan mala y si las avispas son tan fáciles de engañar, ¿por qué se molesta la orquídea en hacer su flor tan parecida a la avispa? Bueno, la visión de las avispas no es siempre tan mala. Hay situaciones en las que parecen ver bastante bien: por ejemplo, cuando tratan de localizar su madriguera después de un largo vuelo de caza. Tinbergen investigó esto en la avispa excavadora cazadora de abejas, *Philanthus*. Esperaba hasta que una avispa estuviera en su madriguera y, antes de que reapareciera, situaba apresuradamente algunas «señales» alrededor de la entrada, digamos una ramita y una piña. Entonces se retiraba y esperaba a que la

avispa saliera volando. Tras abandonar la madriguera hacia dos o tres círculos volando alrededor de ella, como si tomara una fotografía mental de la zona, y después partía en busca de su presa. Mientras estaba fuera, Tinbergen trasladaba la ramita y la piña hasta un lugar a unos pocos metros de allí. Cuando la avispa volvía, pasaba de largo su madriguera y en cambio se introducía en la arena en el punto apropiado con relación a la nueva posición de la ramita y la piña. Una vez más, la avispa ha sido «engañada» en cierto sentido, pero esta vez se gana nuestro respeto por su buena vista. Parece como si verdaderamente lo que ella estuviera haciendo en su vuelo preliminar en círculos fuera «tomar una fotografía mental». Parece haber reconocido el patrón, o *gestalt*^[13], de la ramita y la piña. Tinbergen repitió el experimento muchas veces utilizando diferentes tipos de señales, tales como círculos de piñas, con resultados consistentes.

Veamos ahora un experimento de Gerard Baerends, estudiante de Tinbergen que contrasta de forma impresionante con el experimento de la «lavadora» de Fabre. La especie de avispa excavadora de Baerends, *Ammophila campestris* (una especie estudiada también por Fabre) es inusual porque es una «aprovisionadora progresiva». La mayoría de las avispas excavadoras aprovisionan su madriguera y ponen un huevo, después sellan la madriguera y abandonan a la joven larva para que se alimente por sí misma. *Ammophila* es diferente. Como un ave, regresa diariamente al nido para comprobar el bienestar de la larva y le proporciona comida a medida que la necesita. En todo caso, nada particularmente extraordinario. Pero un individuo hembra de *Ammophila* tendrá al mismo tiempo dos o tres madrigueras en marcha. Una de ellas contendrá una larva relativamente grande y casi adulta, otra una larva pequeña recién puesta y otra quizá una larva de tamaño y edad intermedios. Naturalmente, las tres tienen necesidades alimenticias diferentes y la madre las atiende de acuerdo con ello. Mediante una serie de concienzudos experimentos que incluían el intercambio del contenido de los nidos, Baerends fue capaz de demostrar que las madres avispas realmente toman en cuenta los requerimientos alimenticios de cada nido. Esto parece inteligente, pero también descubrió que no es inteligente, en un sentido muy raro y ajeno. Lo primero que hace cada mañana la madre avispa es una ronda de inspección de todas sus madrigueras en activo. Lo que mide es el estado de cada nido en el momento de la inspección al amanecer y esto es lo que condiciona su conducta de aprovisionamiento para el resto del día. Baerends podía cambiar el contenido de los nidos tan frecuentemente como quisiera después de la inspección matinal y esto no suponía diferencia alguna en el comportamiento de suministro de la madre. Era como si ella encendiera su aparato de evaluación de nidos sólo durante el transcurso de la ronda de inspección del amanecer y después lo apagara, para ahorrar electricidad durante el resto del día.

Esta historia sugiere, por un lado, que en la cabeza de la madre avispa hay equipamiento sofisticado para contar, medir e incluso evaluar. Ahora resulta fácil creer que realmente el cerebro de la avispa sólo sería engañado por un parecido absolutamente minucioso entre las orquídeas y las hembras. Pero al mismo tiempo, la historia de Baerends sugiere una capacidad para la ceguera selectiva y una vulnerabilidad frente al engaño de la misma clase que la del experimento de la lavadora y hace verosímil que un rudimentario parecido entre la orquídea y la hembra pueda ser más que suficiente. La lección general que deberíamos aprender es no usar nunca el juicio humano para valorar tales asuntos. Nunca digas y nunca te tomes en serio a nadie que diga «no puedo creer que tal y cual cosa pudieran haber evolucionado mediante selección gradual». He apodado a este tipo de falacia «el Argumento de la Incredulidad Personal». Una y otra vez ha demostrado ser el preludio de un patinazo intelectual.

El argumento que estoy atacando es el que dice: la evolución gradual de esto y aquello no podría haber sucedido debido a que estas cosas «obviamente» tenían que ser perfectas y completas si habían de funcionar. Hasta el momento, en mi respuesta he resaltado bastante el hecho de que la visión del mundo que tienen las avispas y otros animales es muy distinta a la nuestra, y que en todo caso ni siquiera nosotros somos muy difíciles de engañar. Pero hay otros argumentos todavía más convincentes y generales que quiero desarrollar. Utilicemos la palabra «frágil» para definir un mecanismo que tiene que ser perfecto para que funcione —como alegaba mi corresponsal de las orquídeas imitadoras de avispas—. Encuentro significativo que realmente sea muy difícil pensar en un mecanismo inequívocamente frágil. Un aeroplano no es frágil, puesto que aunque preferiríamos confiar nuestras vidas a un Boeing 747 completo y con sus miríadas de partes en perfecto funcionamiento, un avión que haya perdido piezas principales de su equipamiento, como uno o dos de sus motores, todavía puede volar. Un microscopio no es frágil, porque aunque uno malo sólo dé una imagen oscura y borrosa, todavía puedes ver objetos pequeños con él mejor que si no tuvieras ninguno. Una radio no es frágil; si es deficiente en algún aspecto podría perder fidelidad y el sonido podría ser metálico y distorsionado, pero aún podrías descifrar el significado de las palabras. He estado mirando por la ventana durante diez minutos intentando pensar en un solo ejemplo bueno de un mecanismo de fabricación humana que sea frágil y sólo se me ocurre uno: el arco. Un arco tiene una cierta fragilidad en el sentido de que, una vez que sus dos lados se unen, tiene una gran fuerza y estabilidad, pero antes de que se junten las dos partes ninguna de ellas se mantendrá en pie. Un arco tiene que ser construido con la ayuda de algún tipo de andamiaje que proporcione soporte temporal hasta que esté completo; después se puede retirar y el arco permanece estable durante mucho tiempo.

No hay razón alguna en la tecnología humana por la que un mecanismo no

podiera ser frágil en principio. Los ingenieros tienen libertad para diseñar sobre sus pizarras mecanismos que si estuvieran a medias no funcionarían. Sin embargo, incluso en el campo de la ingeniería, resulta difícil encontrar un mecanismo genuinamente frágil. Creo que esto es todavía más cierto de los mecanismos vivos. Estudiemos algunos de los mecanismos presuntamente frágiles del mundo vivo que nos ha suministrado la propaganda de los creacionistas. El ejemplo de la avispa y la orquídea es sólo un ejemplo del fascinante fenómeno del mimetismo. Un gran número de animales y algunas plantas sacan ventaja de su parecido con otros objetos, frecuentemente animales o plantas. Casi todos los aspectos de la vida han sido mejorados o subvertidos en algo por el mimetismo: la captura de alimento (los tigres y leopardos son casi invisibles mientras acechan a su presa en los bosques moteados por el sol; el rape recuerda el fondo marino sobre el que se coloca y atrae a sus presas con una larga «caña de pescar» en el extremo de la cual hay un cebo que imita a un gusano; las luciérnagas femmes fatales imitan el modelo de destellos de apareamiento de otras especies, atrayendo así a los machos que son devorados; el falso limpiador imita a otras especies de peces especializados en limpiar peces grandes, y una vez que tienen garantizado un acceso privilegiado mordisquean las aletas de sus clientes); evitar ser devorado (los animales presa que se parecen a corteza de árbol, ramitas, hojas verdes frescas, hojas muertas retorcidas, flores, espinas de rosas, matas de algas, piedras, excrementos de pájaro y otros animales conocidos por ser venenosos o ponzoñosos); actuar como señuelos para alejar a los depredadores de las crías (las avocetas y muchas otras aves que anidan en el suelo imitan la actitud y los andares de un ave con el ala rota); conseguir que otro cuide de sus huevos (los huevos de cuco se parecen a los huevos de la especie anfitriona concreta a la que están parasitando; las hembras de ciertas especies de peces que incuban sus huevos dentro de la boca tienen falsos huevos pintados sobre sus flancos para estimular a los machos a que tomen los verdaderos huevos y los críen).

En todos los casos es tentador pensar que la imitación no funcionará a menos que sea perfecta. En el caso particular de la orquídea avispa he sacado partido de la mayoría de las imperfecciones perceptivas de las avispas y de otras víctimas del mimetismo. A mis ojos, de hecho, no todas las orquídeas son tan asombrosas en su parecido con las avispas, las abejas o las moscas. El parecido de un insecto hoja a una hoja es a mis ojos mucho más exacto, probablemente porque mis ojos son más parecidos a los ojos de los depredadores (presumiblemente aves) contra los cuales va dirigido el camuflaje.

Pero hay un sentido más general en el que es erróneo sugerir que el mimetismo tiene que ser perfecto para que funcione. Por buenos que sean los ojos de, por ejemplo, un depredador, las condiciones para la visión no siempre son perfectas. Es más, siempre habrá inevitablemente un continuum de

condiciones de visión, desde las muy malas hasta las muy buenas. Piensa en algún objeto que conozcas realmente bien, tan bien que nunca podrías confundirlo con cualquier otra cosa. O piensa en alguien —pongamos una buena amiga, tan querida y familiar que nunca la confundirías con otra persona—. Pero ahora imagina que ella camina hacia ti desde muy lejos. Tiene que haber una distancia tan grande que haga que seas incapaz de verla y una distancia a la que puedas observar cada rasgo, cada pestaña, cada poro. En las distancias intermedias no hay transformación súbita; hay un enfoque o desenfoque gradual de la capacidad de reconocimiento. Los manuales militares de tiro lo explican con detalle: «A 180 metros, todas las partes del cuerpo se distinguen perfectamente. A 270 metros, el contorno de la cara queda desdibujado. A 360 metros, no hay cara. A 540 metros la cabeza es un punto y el cuerpo se estrecha. ¿Alguna pregunta?». En el caso de la amiga que se acerca gradualmente hay que admitir que podrías reconocerla de repente, pero en este caso la distancia proporciona un gradiente de probabilidad de reconocimiento súbito.

La distancia, de un modo u otro, proporciona un gradiente de visibilidad. Es esencialmente gradual. Para cualquier grado de parecido entre un modelo y una imitación, tanto si el parecido es extraordinario como si es casi inexistente, tiene que haber una distancia a la cual los ojos de un depredador serán engañados y una distancia ligeramente más corta a la que hay menos probabilidad de que lo sean. A medida que tiene lugar la evolución, la selección natural puede, por tanto, favorecer parecidos cada vez más perfectos, puesto que la distancia crítica de engaño disminuye gradualmente. Utilizo «ojos de depredador» como representación de «los ojos de cualquiera que haya que engañar». En algunos casos serán los ojos de las presas, los ojos de los padres adoptivos, los ojos de las hembras de pez y demás.

He demostrado este efecto en mis conferencias públicas con audiencia infantil. Mi colega el doctor George McGavin, del Oxford University Museum, tuvo la amabilidad de fabricar para mí una maqueta de «suelo del bosque» plagado de ramitas, hojas muertas y musgo. Sobre él colocó artísticamente docenas de insectos muertos. Algunos de ellos, como un escarabajo azul metálico, eran bastante llamativos; otros, incluyendo insectos palo y mariposas imitadoras de hojas, estaban exquisitamente camuflados; y había otros, como una cucaracha marrón, que eran intermedios. Se invitaba a los niños a abandonar sus asientos y se les pedía que caminaran lentamente hacia el diorama buscando insectos y que los mencionaran en voz alta a medida que fueran descubriendo cada uno de ellos. Cuando estaban lo bastante lejos, ni siquiera podían ver a los insectos más llamativos. A medida que se acercaban veían primero a los insectos llamativos, después a aquellos como la cucaracha de visibilidad intermedia y finalmente a los bien camuflados. Los insectos mejor camuflados de todos eludían la detección incluso cuando los estaban mirando muy de cerca y los

niños daban un respingo cuando yo se los señalaba.

La distancia no es el único gradiente susceptible de esta clase de razonamiento. La penumbra es otro. A altas horas de la noche no se ve casi nada, e incluso un parecido muy rudimentario entre la imitación y el modelo pasará desapercibido. En pleno día sólo una imitación meticulosamente precisa podría escapar a la detección. Entre esos momentos, al amanecer y al anochecer, en el crepúsculo o en un triste día cubierto, bajo una niebla o una tormenta, impera un suave e ininterrumpido continuum de visibilidades. Una vez más, los parecidos de exactitud gradualmente creciente serán favorecidos por la selección natural, porque para cualquier grado de semejanza habrá un nivel de visibilidad en el cual ese grado de semejanza en particular marcará la diferencia. A medida que tiene lugar la evolución, los parecidos cada vez mejores confieren ventajas para la supervivencia porque la intensidad lumínica crítica para ser engañado se hace cada vez mayor.

Un gradiente similar es el proporcionado por el ángulo de visión. El camuflaje de un insecto, sea malo o bueno, será visto a veces por el rabillo del ojo de un depredador. En otras ocasiones será visto en un plano completamente frontal e inmisericorde. Debe haber un ángulo de visión tan periférico que la peor de las imitaciones escape a la detección. Debe haber un punto de vista tan central que incluso la imitación más brillante esté en peligro. Entre los dos hay un gradiente constante de visión, un continuum de ángulos. Para cualquier nivel dado de perfección en el mimetismo habrá un ángulo crítico en el cual una sutil mejora o empeoramiento marcará la diferencia. A medida que la evolución sigue su curso, los parecidos de calidad sutilmente creciente son favorecidos porque el ángulo crítico para engañar se hace gradualmente más central.

La calidad de los ojos y de los cerebros de los enemigos puede ser considerada como otro gradiente adicional, y ya lo he insinuado en partes anteriores de este capítulo. Para cualquier grado de semejanza entre un modelo y una imitación es muy probable que haya un ojo que será engañado y un ojo que no lo será. Una vez más, a medida que tiene lugar la evolución, los parecidos de calidad suavemente creciente son favorecidos, ya que los ojos cada vez más sofisticados de los depredadores están siendo engañados. No pretendo decir que los depredadores estén evolucionando mejores ojos paralelamente a un mimetismo cada vez mejor, aunque podrían. Quiero decir que existen, por ahí fuera en alguna parte, depredadores con ojos buenos y depredadores con ojos malos. Todos ellos constituyen un peligro. Una mala imitación sólo engaña a los depredadores con ojos malos. Una buena imitación engaña a casi todos los depredadores. Hay un suave continuum entre medias.

La mención de los ojos buenos y los ojos malos me lleva al enigma favorito de los creacionistas. ¿Cuál es la utilidad de un ojo a medias? ¿Cómo puede la selección natural favorecer un ojo que es menos que perfecto? He tratado la

cuestión antes y he descrito un abanico de ojos intermedios, extraídos de aquellos que existen realmente en los diversos fila del reino animal. Aquí incorporaré los ojos dentro de la misma clase de gradientes teóricos que he establecido. Hay un gradiente, un continuum, de tareas para las que un ojo podría ser utilizado. En este momento estoy utilizando los míos para reconocer letras del alfabeto a medida que éstas aparecen en la pantalla del ordenador. Para ello se necesitan unos ojos buenos y de alta precisión. He llegado a una edad en la que ya no puedo leer sin la ayuda de las gafas, de momento unas bastante poco graduadas. Aun así, a medida que me haga mayor la potencia de mi graduación aumentará de forma constante. Sin mis gafas me será constante y gradualmente más difícil ver los detalles cercanos. Aquí tenemos otro continuum, un continuum de edad.

Cualquier ser humano normal, por viejo que sea, tiene mejor vista que un insecto. Hay tareas que pueden ser eficazmente realizadas por personas con una vista relativamente pobre, e incluso por las casi ciegas. Puedes jugar al tenis con una visión bastante borrosa, porque una pelota de tenis es un objeto grande, cuya posición y movimiento pueden ser vistos incluso aunque esté desenfocado. Los ojos de las libélulas, aunque son malos medidos según nuestros criterios, son buenos según los criterios de los insectos, y las libélulas pueden atrapar insectos en vuelo, una tarea casi tan difícil como golpear una pelota de tenis. Unos ojos mucho peores podrían ser útiles en la tarea de evitar chocarse contra una pared o caerse a un río o por el borde de un precipicio. Los ojos todavía peores podrían avisar de cuando una sombra, que bien podría ser una nube pero que también podría anunciar un depredador, acecha sobre la cabeza. Y los todavía peores podrían servir para distinguir entre el día y la noche, lo cual es útil, entre otras cosas, para sincronizar las temporadas de cría y saber cuándo irse a dormir. Hay un continuum de tareas a las cuales se puede dedicar un ojo, de modo que para cualquier calidad del ojo, de magnífico a desastroso, hay un nivel de tarea en el cual una mejora mínima de la visión supondrá una diferencia. Por tanto, no es difícil comprender la evolución gradual del ojo, desde sus primitivos y básicos comienzos, pasando por un continuum de fases intermedias, hasta la perfección que observamos en un halcón o en un humano joven.

Luego, la pregunta del creacionista —¿cuál es la utilidad de un ojo a medias? — es una pregunta de poco peso, sencillísima de contestar. Medio ojo es sólo un 1 por 100 mejor que el 49 por 100 de un ojo, lo que es ya mejor que el 48 por 100, y la diferencia es significativa. Una muestra más sólida de autoridad parece subyacer tras la inevitable cuestión adicional: «Hablando como físico^[14], no puedo creer que haya habido suficiente tiempo para que un órgano tan complicado como el ojo evolucionara de la nada. ¿Realmente piensan que ha habido tiempo suficiente?». Ambas preguntas están enraizadas en el Argumento de la Incredulidad Personal. Sin embargo, los espectadores agradecen una respuesta, y yo normalmente he recurrido a la impresionante magnitud del

tiempo geológico. Si un paso representa un siglo, la era cristiana completa se reduciría a la longitud de un campo de *cricket*. Para llegar al origen de los animales multicelulares, en esta misma escala, tendríamos que recorrer a pie el camino de Nueva York a San Francisco.

Ahora resulta evidente que la impactante enormidad del tiempo geológico es como un martillo hidráulico para partir un cacahuate. El recorrido de costa a costa es la representación dramática del tiempo disponible para la evolución del ojo. Aun así hay un estudio reciente llevado a cabo por un par de científicos suecos, Dan Nilsson y Susanne Pelger, que sugiere que una fracción ridículamente pequeña de ese tiempo hubiera sobrado. Por cierto, cuando decimos «el» ojo nos referimos implícitamente al ojo de los vertebrados, pero en muchos grupos diferentes de invertebrados han evolucionado entre cuarenta y sesenta veces, independientemente y desde cero, ojos inútiles que forman imágenes. Entre esas más de cuarenta evoluciones independientes se han descubierto por lo menos nueve principios de diseño distintos, incluyendo pequeños agujeros oculares, dos tipos de ojos con lentes de cámara, ojos de reflectores curvados («antena parabólica») y varios tipos de ojos compuestos. Nilsson y Pelger se han concentrado en los ojos con lentes de cámara, los cuales están bien desarrollados en los vertebrados y en los pulpos.

¿Cómo se hace una estimación aproximada del tiempo necesario para una determinada cantidad de cambio evolutivo? Tenemos que encontrar una unidad para medir la magnitud de cada paso evolutivo y es sensato expresarlo como un cambio porcentual sobre lo que ya existe. Nilsson y Pelger utilizaron el número de cambios sucesivos del 1 por 100 como unidad para medir los cambios de cantidades anatómicas. Esta es sólo una unidad de conveniencia —como la caloría, que se define como la cantidad de energía necesaria para hacer una determinada cantidad de trabajo—. Es más fácil utilizar la unidad del 1 por 100 cuando todo el cambio es en una dimensión. En el improbable caso, por ejemplo, de que la selección natural favoreciera las colas de las aves del paraíso de longitud cada vez mayor, ¿cuántos pasos necesitaría la cola para evolucionar de un metro hasta un kilómetro de longitud? Un aumento del 1 por 100 en la longitud de la cola no sería detectado por el observador ocasional de pájaros. Sin embargo, sorprendentemente se requieren pocos de estos pasos para alargar la cola hasta un kilómetro, menos de setecientos.

Alargar la cola de un metro a un kilómetro está muy bien (y es bastante absurdo), pero ¿cómo situamos en la misma escala la evolución de un ojo? El problema es que en el caso del ojo tienen que suceder paralelamente muchas cosas en muchas regiones diferentes. La tarea de Nilsson y Pelger era establecer modelos informáticos de ojos en evolución para contestar dos preguntas. La primera es esencialmente la pregunta que hemos planteado una y otra vez en las últimas páginas, pero ellos lo hicieron más sistemáticamente, utilizando un

ordenador: ¿Hay un suave gradiente de cambio, de un ojo de piel plana a uno de cámara completo, de forma que cada fase intermedia es una mejora? (A diferencia de los diseñadores humanos, la selección natural no puede ir cuesta abajo, ni siquiera aunque haya una colina más alta y tentadora al otro lado del valle). Segunda —la pregunta con la que empezamos esta sección—: ¿cuánto tiempo requeriría la cantidad de evolución necesaria?

En los modelos informáticos, Nilsson y Pelger no hicieron intento alguno de simular el funcionamiento interno de las células. Comenzaron su historia con la invención de una única célula sensible a la luz—no hace daño llamarla fotocélula—. En el futuro sería agradable hacer otro modelo informático, esta vez partiendo del nivel del interior celular, para mostrar cómo apareció la primera fotocélula viva mediante la modificación paso a paso de una célula preexistente y con propósitos más generales. Pero hay que empezar por alguna parte y Nilsson y Pelger empezaron después de la invención de la fotocélula. Trabajaron en el nivel de los tejidos: el nivel de la materia compuesta de células más que el nivel de las células individuales. La piel es un tejido, también lo es el recubrimiento del intestino, el músculo y el hígado. Los tejidos pueden cambiar en diversos aspectos bajo la influencia de la mutación aleatoria. Las láminas de tejido pueden crecer o disminuir en área. Pueden adelgazar o hacerse más gruesas. En el caso especial de los tejidos transparentes, como el tejido de las lentes, puede cambiar el índice de refracción (el poder de desviación de los rayos luminosos) de partes locales del tejido.

La belleza de la simulación de un ojo, al contrario de la de, por ejemplo, la pata de un guepardo durante la carrera, es que la eficiencia puede ser medida fácilmente utilizando las leyes de la óptica elemental. El ojo está representado como una sección transversal en dos dimensiones y el ordenador puede calcular fácilmente su agudeza visual o su resolución espacial en forma de un único número real. Sería mucho más difícil llegar a una expresión numérica equivalente para la eficacia de la espina dorsal o de la pata de un guepardo. Nilsson y Pelger empezaron con una retina plana situada sobre una capa plana de pigmentos y cubierta por una capa protectora transparente. A la capa transparente se le permitió que desarrollara mutaciones aleatorias y localizadas de su índice de refracción. Entonces dejaron que el modelo se deformara a sí mismo al azar, restringido sólo por el requisito de que todo cambio debía ser pequeño y debía suponer una mejora sobre lo que había antes.

Los resultados fueron rápidos y decisivos. Una trayectoria de agudeza en constante aumento condujo sin vacilación desde el comienzo plano, pasando por una somera hendidura, hasta una copa de profundización constante, a medida que la estructura del modelo de ojo se deformaba a sí misma en la pantalla del ordenador. La capa transparente se hizo más gruesa para rellenar la copa y su superficie externa sobresalió suavemente formando una curva. Y entonces, casi

como un truco de magia, una porción de este relleno transparente se condensó en una subregión local esférica con un índice de refracción más alto. No uniformemente más alto, sino un gradiente de índice de refracción tal que la región esférica funcionaba como una excelente lente de índice gradual. Las lentes de índice gradual no son familiares para los fabricantes de lentes humanos pero son comunes en los ojos vivos. Los humanos construyen lentes esculpiendo el vidrio hasta obtener una forma particular. Hacemos lentes compuestas, como las caras lentes teñidas de violeta de las cámaras modernas, montando varias lentes juntas, pero cada una de esas lentes individuales está hecha de vidrio uniforme en todo su grosor. Una lente de índice gradual, por el contrario, tiene un índice de refracción continuamente variable dentro de su propia sustancia. Típicamente, tiene un índice de refracción alto cerca del centro de la lente. Los ojos de los peces tienen este tipo de lentes. Se sabe ya hace tiempo que para una lente de índice gradual, los resultados más libres de aberración se obtienen cuando consigues un valor óptimo teórico para la proporción entre la distancia focal de la lente y el radio. Esta proporción se conoce como el coeficiente de Mattiessen. El modelo informático de Nilsson y Pelger encajaba infaliblemente con este coeficiente.

Y así llegamos a la pregunta de cuánto tiempo habría llevado todo este cambio evolutivo. Para contestarla, Nilsson y Pelger tuvieron que hacer algunas suposiciones sobre la genética de las poblaciones naturales. Necesitaban suministrar a su modelo valores plausibles de variables tales como la «heredabilidad». La heredabilidad es una medida de hasta qué punto la variación está gobernada por la herencia. La mejor manera de medir esto es ver cuánto se parecen entre ellos los gemelos monozigóticos (es decir, los idénticos) comparada con los gemelos normales. Un estudio encontró que la heredabilidad de la longitud de la pierna en varones humanos era de un 77 por 100. Una heredabilidad del 100 por 100 significaría que si midieras la pierna de un gemelo idéntico conocerías a la perfección la longitud de la pierna del otro gemelo, incluso aunque ambos hubieran sido criados por separado. Una heredabilidad del 0 por 100 significaría que las piernas de los gemelos monozigóticos no son más parecidas entre ellos que a las piernas de miembros al azar de una población específica en un medio ambiente dado. Algunas otras heredabilidades medidas en los humanos son el 95 por 100 para la anchura de la cabeza, el 85 por 100 para altura de la cadera a la cabeza, el 80 por 100 para la longitud del brazo y el 79 por 100 para la estatura.

Son frecuentes heredabilidades de más del 50 por 100 y, por tanto, Nilsson y Pelger se aseguraron dándole a su modelo de ojo una heredabilidad del 50 por 100. Esto era una premisa conservadora o «pesimista». Comparada con una premisa más realista de, digamos, un 70 por 100, una premisa pesimista tiende a aumentar la estimación final del tiempo que le lleva al ojo evolucionar. Querían

pecar por el lado de la sobreestimación porque nosotros somos intuitivamente escépticos ante estimaciones cortas del tiempo que algo tan complicado como un ojo necesita para evolucionar.

Por la misma razón, eligieron valores pesimistas para el coeficiente de variación (es decir, cuánta variación hay típicamente en la población) y para la intensidad de selección (la cantidad de ventajas de supervivencia que proporciona una visión mejorada). Fueron aún más lejos asumiendo que cualquier nueva generación diferiría sólo en una parte del ojo al mismo tiempo: los cambios simultáneos en diferentes regiones del ojo, que habrían acelerado enormemente la evolución, fueron prohibidos. Pero incluso con estas suposiciones conservadoras, el tiempo que tardó el ojo de un pez en evolucionar a partir de una piel plana fue minúsculo: menos de cuatrocientas mil generaciones. Para el tipo de animales pequeños de los que estamos hablando podemos asumir una generación por año, así que parece que se tardaría menos de medio millón de años en evolucionar un buen ojo en cámara.

A la luz de los resultados de Nilsson y Pelger no es ninguna maravilla que «el» ojo haya evolucionado independientemente al menos cuarenta veces en el reino animal. Ha habido tiempo suficiente para que hubiera podido evolucionar sucesivamente mil quinientas veces desde cero dentro de cualquier linaje. Asumiendo longitudes de generación típicas para animales pequeños, el tiempo necesario para la evolución del ojo, lejos de sorprender la credulidad por su vastedad, resulta ser demasiado corto para que lo midan los geólogos! Es un guiño geológico.

Hazlo bien, pero con mesura. Un rasgo clave de la evolución es su gradualidad. Esta es una cuestión de principio más que de hecho. Podría o no darse el caso de que algunos episodios de la evolución tomen un giro súbito. Podría haber intervalos de rápida evolución o incluso abruptas macromutaciones —cambios fundamentales que separen a un niño de sus dos progenitores—. Ciertamente, hay extinciones repentinas —causadas quizá por grandes catástrofes naturales tales como los cometas que chocan contra la Tierra— y éstas dejan vacíos susceptibles de ser rellenados por suplentes que están mejorando rápidamente, como los mamíferos reemplazaron a los dinosaurios. En realidad, es muy posible que la evolución no sea siempre gradual; pero debe ser gradual cuando se utilice para explicar la aparición de objetos complicados, aparentemente diseñados, como los ojos. Porque si en estos casos no es gradual pierde totalmente cualquier poder explicativo. Sin gradualidad en estos casos regresamos al milagro, que es sencillamente sinónimo de la ausencia total de explicación.

La razón de que nos impresionen tanto los ojos y las orquídeas polinizadas por avispas es que son improbables. Las probabilidades en contra de su ensamblaje espontáneo y fortuito son demasiado grandes para que se den en el mundo real.

La solución al enigma es la evolución gradual mediante pasos pequeños, siendo cada uno de ellos afortunado pero no demasiado afortunado. Si no es gradual no soluciona el enigma: sólo es una reafirmación de él.

Habrán momentos en los que será difícil imaginar cuáles habrán sido los intermediarios graduales. Nuestro ingenio será puesto a prueba, pero si falla, tanto peor para él. No hay evidencia firme de que no hubiera fases intermedias graduales. Uno de los retos más difíciles para nuestro ingenio cuando pensamos en los intermediarios graduales lo proporciona el famoso «lenguaje danza» de las abejas, expuesto en la obra clásica por la que Karl von Frisch se dio a conocer. Aquí el producto final de la evolución parece tan complicado, tan ingenioso y alejado de cualquier cosa que normalmente esperaríamos que hiciera un insecto, que es difícil imaginar las fases intermedias.

Las abejas se cuentan las unas a las otras la posición de las flores por medio de una danza cuidadosamente codificada. Si el alimento está muy cerca del panal hacen la «danza circular». Esto sólo excita a las otras abejas, que salen apresuradamente a buscar en los alrededores del panal; nada particularmente notable. Pero lo que sucede cuando el alimento está más lejos es muy notable. La recolectora que ha descubierto el alimento lleva a cabo la llamada danza de agitación y su forma y ritmo les indica a las otras abejas tanto la dirección cardinal como la distancia desde la colmena al alimento. La danza de agitación tiene lugar dentro de la colmena en la superficie vertical del panal. El interior de la colmena está oscuro, así que las otras abejas no pueden verla. La sienten y también la oyen, puesto que la abeja que baila acompaña su actuación de unos pequeños y rítmicos zumbidos. La danza tiene la forma de un número ocho, con una carrera en línea recta en el centro. Es la dirección de la línea la que, como un astuto código, indica la dirección del alimento.

La carrera en línea recta no señala directamente hacia el alimento. No puede, ya que la danza se lleva a cabo sobre la superficie vertical del panal y el panal está construido sin tener en cuenta dónde pudiera estar el alimento. El alimento tiene que ser localizado en geografía horizontal. La superficie vertical es más como un mapa pinchado en la pared. Una línea dibujada sobre un mapa de la pared no señala directamente hacia un destino en particular, pero puedes leer la dirección por medio de una convención arbitraria.

Para entender la convención que utilizan las abejas primero hay que saber que éstas, como muchos insectos, navegan utilizando el sol como una brújula. Nosotros antiguamente hicimos más o menos lo mismo. El método tiene dos inconvenientes. Primero, el sol con frecuencia está escondido tras las nubes. Las abejas resuelven este problema por medio de un sentido que nosotros no tenemos. De nuevo fue Von Frisch quien descubrió que pueden ver en la dirección de polarización de la luz y esto les dice dónde está el sol incluso aunque éste no sea visible. El segundo problema de una brújula solar es que el sol se

« mueve» por el cielo a medida que pasan las horas. Las abejas sobrellevan esto utilizando un reloj interno. Von Frisch descubrió que, por increíble que parezca, las abejas que bailan atrapadas en la colmena durante horas después de su expedición de recolección rotarán ligeramente la dirección de la carrera en línea recta de la danza, como si esta carrera fuera la aguja de las horas de un reloj de veinticuatro horas. Dentro de la colmena no pueden ver el sol, pero orientarán lentamente la dirección de su danza de modo que siga la pauta del movimiento del sol que está teniendo lugar en el exterior, tal y como les es indicado por su reloj interno. De forma fascinante, las carreras de las abejas que danzan en el hemisferio sur hacen lo mismo pero al revés, justo como deberían.

Ahora vayamos al código de la danza propiamente dicho. Cuando la carrera en línea recta señala hacia la parte superior de la pared vertical indica que el alimento está en la misma dirección del sol. Hacia la parte inferior indica que el alimento está en la dirección exactamente opuesta. El significado del resto de los ángulos intermedios es previsible: 50 grados hacia la izquierda de la vertical significa 50 grados a la izquierda de la dirección del sol en el plano horizontal. Sin embargo, la precisión de la danza no está ajustada hasta el último grado. ¿Por qué debería estarlo si son nuestras convenciones arbitrarias las que dividen la brújula en 360 grados? Las abejas dividen la brújula en aproximadamente 8 grados de abeja. En realidad, esto es más o menos lo que nosotros hacemos cuando no somos navegantes profesionales. Dividimos nuestra brújula informal en ocho cuadrantes: N, NE, E, SE, S, SO, O, NO.

La danza de las abejas también codifica la distancia a la que está el alimento; o mejor dicho, algunos aspectos de la danza —el ritmo de giro, el ritmo de agitación, el ritmo de los zumbidos— están correlacionados con la distancia a la que está el alimento y cualquiera de ellos o cualquier combinación de ellos podría ser, por tanto, utilizado por las otras abejas para leer la distancia. Cuanto más cerca esté el alimento más rápida es la danza. Para recordar esto reflexionemos sobre lo siguiente: se podría esperar que una abeja que ha encontrado alimento cerca de la colmena estuviera más excitada y menos cansada que una abeja que ha encontrado alimento muy lejos. Esto es más que un simple *aide-memoire*; como veremos más tarde, da una pista sobre cómo evolucionó la danza.

Resumiendo, una abeja recolectora encuentra una buena fuente de alimento; regresa a la colmena cargada con néctar y polen y entrega su carga a las obreras que la reciben. Entonces comienza su danza. En alguna parte de la pared vertical del panal, no importa dónde, gira y gira apresuradamente haciendo un apretado número ocho. Otras abejas obreras se agolpan a su alrededor, sintiendo y escuchando. Perciben el ritmo de los zumbidos y quizá también la velocidad de giro. Mientras la bailarina mueve su abdomen miden, en relación con la vertical, el ángulo de la carrera en línea recta de la danza. Entonces se trasladan a la

entrada de la colmena y se precipitan desde la oscuridad a la luz del día. Observan la posición del sol —no su altura vertical sino su orientación de brújula en el plano horizontal— y salen volando siguiendo una línea recta, cuyo ángulo en relación con el sol concuerda con el ángulo de la danza de la recolectora inicial relativo a la vertical de la pared del panal. Siguen volando en esta dirección, pero no durante una distancia indefinida sino durante una distancia (inversamente) proporcional a (el logaritmo de) el ritmo de los zumbidos de la bailarina. Misteriosamente, aunque la abeja inicial hubiera volado dando un rodeo antes de encontrar alimento, su danza no señala en la dirección de ese desvío sino en la dirección cardinal reconstruida de la fuente de alimento.

La historia de la abeja danzarina es difícil de creer y algunos la han desmentido. En el próximo capítulo volveré a los escépticos y a los recientes experimentos que finalmente se hicieron con la evidencia. En este capítulo quiero discutir la evolución gradual de la danza de las abejas. ¿Cómo habrían sido los estadios intermedios en su evolución? Y ¿cómo funcionaban cuando la danza era todavía incompleta?

La forma de plantear esta pregunta no es del todo correcta, por cierto. Ninguna criatura se gana la vida siendo un « estadio intermedio », « incompleto ». Las abejas antiguas y muertas hace ya mucho tiempo, cuyas danzas pueden ser interpretadas en retrospectiva como fases intermedias en el camino hacia la danza de la abeja moderna, se ganaban bien la vida. Vivieron vidas de abeja plenas y no se les ocurrió que estuvieran « en camino » hacia algo « mejor ». Es más, nuestra danza « moderna » de las abejas podría no ser el último grito, podría evolucionar hacia algo todavía más espectacular cuando nosotros y nuestras abejas nos hayamos ido. Sin embargo, aún nos queda el enigma de cómo podría haber evolucionado la danza actual mediante pasos graduales. ¿Cómo habrían sido esos intermediarios graduales y cómo funcionaban?

El propio Von Frisch ha prestado atención a la cuestión y la ha abordado examinando en el árbol genealógico a los primos lejanos modernos de las abejas. Estos no son los ancestros de las abejas melíferas, sino sus contemporáneos, pero podrían retener características ancestrales. La abeja melífera propiamente dicha es un insecto de zonas templadas que anida para protegerse en cuevas o agujeros vacíos de los árboles. Sus parientes más cercanos son las abejas tropicales que pueden anidar en zonas abiertas colgando sus panales de las ramas de los árboles o de afloramientos rocosos. De esta forma son capaces de ver el sol mientras danzan y no tienen que recurrir a la convención de dejar que la vertical « represente » la dirección del sol. El sol puede representarse a sí mismo.

Uno de estos parientes tropicales, la abeja enana *Apis florea*, danza en la superficie horizontal que hay en lo alto del panal. La carrera en línea recta de la danza señala directamente hacia el alimento. No hay necesidad de una convención cartográfica; vale con señalar directamente. Desde luego, éste podría

ser un estadio de transición plausible en la ruta hacia la abeja melífera, pero todavía tenemos que pensar en las demás fases intermedias que precedieron y siguieron a este estadio. ¿Cuáles podrían haber sido los precursores de la danza de la abeja enana? ¿Por qué una abeja que acaba de encontrar alimento debe girar una y otra vez precipitadamente haciendo un número ocho cuya carrera en línea recta señale hacia la fuente de alimento? Los indicios apuntan hacia que ésta es una forma ritualizada de la carrera de despegue. Antes de que la danza evolucionara, sugiere Von Frisch, una recolectora que acabara de descargar simplemente despegaría en la misma dirección, para volar de nuevo hacia la fuente de alimento. Como preparación antes de lanzarse al aire volvería la cara hacia la dirección apropiada y andaría unos pocos pasos. La selección natural habría favorecido cualquier tendencia a exagerar o prolongar la carrera de despegue si esto animara a otras abejas a seguirla. Tal vez la danza sea una especie de carrera de despegue repetida ritualmente. Esto es verosímil debido a que, tanto si recurren a la danza como si no lo hacen, las abejas frecuentemente utilizan la táctica mucho más directa de seguirse sencillamente las unas a las otras hasta las fuentes alimenticias. Otro hecho que proporciona verosimilitud a la idea es que las abejas que danzan alargan ligeramente las alas, como preparándose para volar, y hacen vibrar los músculos de las alas, no con suficiente vigor como para despegar pero con el suficiente para hacer el ruido que es parte importante de las señales de la danza.

Una forma obvia para prolongar y exagerar la carrera de despegue es repetirla. Repetirla significa volver al principio y dar una vez más unos cuantos pasos en la dirección del alimento. Hay dos maneras de volver al principio: puedes girar a la derecha o girar a la izquierda al final del recorrido. Si giras de manera consistente hacia la derecha o giras de manera consistente hacia la izquierda será ambiguo qué dirección es la verdadera dirección de despegue y cuál el viaje de vuelta al principio del recorrido. La mejor manera de eliminar la ambigüedad es girar alternativamente a la derecha y a la izquierda. De ahí la selección natural del patrón del número ocho.

Pero ¿cómo evolucionó la relación entre la distancia hasta el alimento y el ritmo de la danza? Si el ritmo de la danza estuviera relacionado directamente con la distancia hasta el alimento sería difícil de explicar, pero como recordarás, de hecho sucede lo contrario: cuanto más cerca esté el alimento, más rápida es la danza. Esto sugiere inmediatamente una ruta verosímil para la evolución gradual. Antes de que evolucionara la danza propiamente dicha, las recolectoras podrían haber llevado a cabo su repetición ritualizada de la carrera de despegue pero a ninguna velocidad en particular. El ritmo de la danza habría respondido a cómo se sintieran en ese momento dado. Pensemos: si acabaras de llegar a casa tras un vuelo de varios kilómetros, cargado como un burro de néctar y polen, ¿te sentirías como para salir de estampida a toda velocidad alrededor del panal? No,

probablemente estarías exhausto. Por otro lado, si acabaras de descubrir una rica fuente de alimento bastante cerca de la colmena, el corto viaje de vuelta hasta casa te habría dejado fresco y repleto de energía. No es difícil imaginar cómo una relación originalmente accidental entre la distancia hasta el alimento y la lentitud de la danza podrían haber sido ritualizadas en un código formal y fiable.

Ahora vayamos a la fase intermedia más desafiante de todas. ¿Cómo se transforma una antigua danza en la que la carrera en línea recta apuntaba directamente hacia el alimento, en una en la que el ángulo relativo a la vertical se convierte en un código para el ángulo del alimento con relación al sol? Una transformación como esa era necesaria en parte porque el interior de la colmena de la abeja melífera es oscuro y no se puede ver el sol, y en parte porque cuando danzas sobre una pared vertical no puedes señalar directamente hacia el alimento a menos que dé la casualidad de que la superficie misma señale hacia él. Pero no es suficiente mostrar que algún tipo de transformación como ésta era necesaria; también tenemos que explicar cómo se consiguió esta difícil transición paso-a-paso mediante una serie verosímil de intermediarios.

Parece desconcertante, pero un hecho singular sobre el sistema nervioso de los insectos viene en nuestra ayuda. El siguiente notable experimento ha sido realizado en una gran variedad de insectos, desde los escarabajos hasta las hormigas. Empieza con un escarabajo andando a lo largo de una tabla de madera horizontal en presencia de una luz eléctrica. La primera cosa a señalar es que el insecto está utilizando una brújula lumínica; al cambiar la posición de la bombilla, el insecto cambiará su dirección de acuerdo con ello. Si mantenía una orientación de, pongamos, 30 grados de la luz, desviará su trayectoria de manera que mantenga una orientación de 30 por 100 con la nueva posición de la luz. De hecho puedes dirigir al escarabajo hacia donde quieras, utilizando el rayo de luz como un timón. Esta característica de los insectos se conoce desde hace mucho tiempo: utilizan el sol (o la luna o las estrellas) como una brújula y puedes engañarlos fácilmente con una bombilla. Por el momento, todo va bien. Ahora vayamos al interesante experimento. Apaga la luz y en ese mismo momento inclina la tabla hasta la vertical. Impertérrito, el escarabajo continuará caminando; y, *mirabile dictu*, cambia la dirección de su camino de manera que el ángulo con relación a la vertical sea el mismo que el ángulo previo relativo a la luz: 30 grados en nuestro ejemplo. Nadie sabe por qué sucede, pero lo hace. Parece revelar una peculiaridad accidental del sistema nervioso de los insectos —una confusión de sentidos, un cruce de cables entre el sentido de la gravedad y el sentido de la vista, quizá parecido a cuando nosotros nos golpeamos en la cabeza y vemos un destello—. De cualquier modo, probablemente proporcionó el puente necesario para la evolución del código « la vertical representa al sol » de la danza de las abejas melíferas.

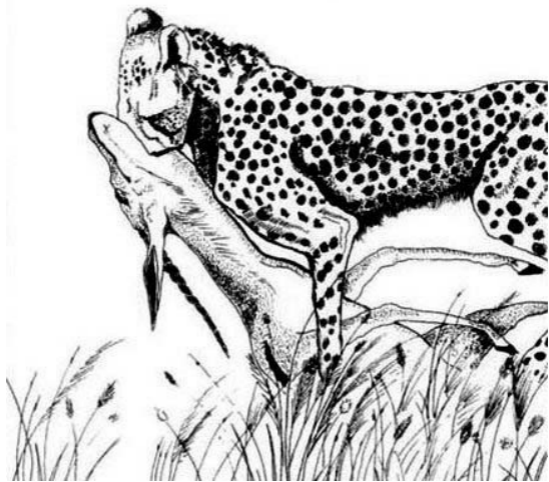
De forma reveladora, si enciendes una luz dentro de una colmena, las abejas

dejan a un lado su sentido de la gravedad y utilizan la dirección de la luz para representar directamente al sol en su código. Este hecho, conocido hace mucho tiempo, ha sido explotado en uno de los experimentos más ingeniosos que se hayan llevado a cabo nunca, el que finalmente proporcionó las pruebas de que la danza de la abeja melífera funciona realmente. Volveré a él en el próximo capítulo. Mientras tanto, hemos encontrado una serie verosímil de fases intermedias graduales a través de las cuales podría haber evolucionado la danza de la moderna abeja melífera a partir de un comienzo más sencillo. Tal y como la he contado, la historia basada en las ideas de Von Frisch podría de hecho no ser la correcta, pero seguramente sucedió algo muy parecido. La he introducido como respuesta al escepticismo natural —el Argumento de la Incredulidad Personal— que surge cuando alguien se enfrenta a fenómenos naturales realmente ingeniosos o complicados. El escéptico dice «no puedo imaginar una serie verosímil de fases intermedias; por tanto, no hubo ninguna y el fenómeno apareció mediante un milagro espontáneo». Von Frisch ha proporcionado una serie verosímil de intermediarios. Incluso aunque no sea exactamente la serie correcta, el hecho de que sea verosímil es suficiente para echar por tierra el Argumento de la Incredulidad Personal. Lo mismo se cumple para el resto de los ejemplos que hemos revisado, desde las orquídeas que imitan avispas hasta los ojos en cámara.

Los escépticos del darwinismo gradual podrían reunir un infinito número de hechos intrigantes y curiosos de la naturaleza. Se me ha pedido que explique, por ejemplo, la evolución gradual de aquellas criaturas que viven en las profundas simas del océano Pacífico, donde no hay luz y donde la presión del agua puede sobrepasar las mil atmósferas. Alrededor de las fumarolas calientes y volcánicas, en las llanuras abisales del Pacífico, ha crecido una comunidad completa de animales. Las bacterias ponen en marcha una bioquímica alternativa completa, utilizando el calor de las fumarolas y metabolizando azufre en vez de oxígeno. La comunidad de animales de mayor tamaño depende en último término de estas bacterias del azufre, de la misma forma que la vida corriente depende de las plantas verdes que capturan la energía que proviene del sol.

Los animales de la comunidad del azufre son todos parientes de animales más convencionales que podemos encontrar en cualquier otro lado. ¿Cómo evolucionaron y a través de qué estadios intermedios? Bueno, la estructura del argumento será exactamente la misma. Todo lo que necesitamos para nuestra explicación es por lo menos un gradiente natural y los gradientes abundan a medida que descendemos en el mar. Mil atmósferas es una presión horrenda, pero sólo es cuantitativamente mayor que 999 atmósferas, que a su vez sólo es cuantitativamente mayor que 998 atmósferas y así sucesivamente. El fondo del mar ofrece gradientes de profundidad desde los 0 metros, pasando por todos los

niveles intermedios, hasta los 11 000 metros. La presión varía suavemente desde 1 atmósfera hasta 1000. La intensidad de la luz varía suavemente desde la brillante luz del día cerca de la superficie hasta la oscuridad total en las profundidades, sólo aliviada por los escasos grupos de bacterias luminiscentes encerrados en los órganos luminosos de los peces. No hay cortes bruscos. Para cada nivel de presión y oscuridad habrá un diseño de animal adaptado a él, sólo ligeramente distinto de los animales existentes, que puede sobrevivir una braza más profundo, un lumen más oscuro. Para cada... pero este capítulo ya es más que suficientemente largo. Conoces mis métodos, Watson. Aplicalos.



4. La función de utilidad de Dios

Mi devoto corresponsal del capítulo anterior encontró la fe a través de una avispa. Charles Darwin perdió la suya con la ayuda de otra: « No puedo convencerme a mí mismo », escribió Darwin, « de que un Dios benéfico y omnipotente haya creado deliberadamente a las Ichneumonidae con la expresa intención de que se alimentaran de los cuerpos vivos de las orugas ». En realidad, los motivos de la gradual pérdida de fe de Darwin, que ocultaba por temor a disgustar a su querida esposa Emma, fueron más complejos. Su referencia a las icneumonidas era más bien aforística. Los macabros hábitos a los que se refería los comparten también sus primas las avispas excavadoras, a las que conocimos en el capítulo anterior. La hembra de la avispa excavadora no sólo pone su huevo en una oruga (o saltamontes o abeja) para que sus larvas puedan alimentarse de ella, sino que, de acuerdo con Fabre y otros, introduce cuidadosamente su agujijón dentro de cada uno de los ganglios del sistema nervioso central de la presa de manera que la paralice pero no la mate. Así la carne se mantiene fresca. No se sabe si la parálisis funciona como una anestesia general o si es como el curare que sólo congela la capacidad de movimiento de la víctima. En este último caso, la presa podría ser consciente que está siendo devorada en vida desde dentro al tiempo que sería incapaz de mover un músculo para evitarlo. Esto suena salvajemente cruel pero, como veremos, la naturaleza no es cruel, sólo despiadadamente indiferente. Esta es una de las lecciones más duras de aprender para los humanos. No somos capaces de admitir que las cosas podrían no ser ni buenas ni malas, ni crueles ni amables, sino simplemente insensibles, indiferentes a todo sufrimiento, totalmente carentes de intención.

Los humanos tenemos la intención en el cerebro. Nos resulta difícil mirar cualquier cosa sin preguntarnos « para qué » sirve, cuál es su motivo o el propósito que se esconde tras ella. Cuando la obsesión por la intención se vuelve patológica se denomina paranoia —suponer intención malévolas en lo que realmente es mala suerte fortuita—. Pero esto es sólo la forma exagerada de un espejismo casi universal. Enséñanos casi cualquier objeto o proceso y nos será difícil resistirnos a la pregunta de « ¿Por qué? », la pregunta de « ¿Para qué sirve? ».

El deseo de ver intención en todas partes es natural en un animal que vive rodeado de máquinas, obras de arte, herramientas y otros artefactos diseñados; un animal, por otra parte, cuyos pensamientos al despertar están dominados por sus propias metas personales. Los coches, los abrelatas, los destornilladores y las horquillas justifican todos legítimamente la pregunta de «¿Para qué sirve?». Nuestros antepasados paganos se habrían hecho la misma pregunta sobre los rayos, los eclipses, las rocas y los arroyos. Hoy en día nos enorgullecemos de habernos librado de ese animismo primitivo. Si una roca en un arroyo sirve por casualidad como una conveniente piedra de paso consideramos su utilidad como un extra accidental, no como un verdadero propósito. Pero la vieja tentación regresa para vengarse cuando la tragedia se ceba en nosotros —de hecho, la propia palabra «cebarse» es un eco animista—; «¿por qué?, ¡oh!, ¿por qué el cáncer/terremoto/huracán tuvo que cebarse en mi hijo?». Y desde luego, con frecuencia paladeamos la misma tentación cuando el tema es el origen de todas las cosas o las leyes fundamentales de la física, culminando en la vacua pregunta existencial «¿Por qué hay algo en vez de nada?».

He perdido la cuenta del número de veces en las que alguien de la audiencia se ha levantado después de una de mis conferencias públicas y ha dicho algo parecido a esto: «Ustedes los científicos son muy buenos contestando las preguntas de “¿Cómo?”, pero deben admitir que están incapacitados cuando se trata de las preguntas de “¿Por qué?”». El príncipe Felipe, duque de Edimburgo, hizo este mismo comentario cuando formaba parte de la audiencia de un discurso ofrecido en Windsor por mi colega el doctor Peter Atkins. Detrás de esta pregunta siempre existe la implicación, acallada pero nunca justificada, de que puesto que la ciencia es incapaz de contestar las preguntas de «¿Por qué?» debe haber alguna otra disciplina que sí esté cualificada para hacerlo. Esta implicación es, por supuesto, bastante ilógica.

Me temo que el doctor Atkins desestimó justamente el «¿Por qué?» real. El mero hecho de que sea posible plantear una pregunta no hace que hacerlo sea sensato o legítimo. Hay muchas cosas sobre las cuales puedes preguntar «¿A qué temperatura está?» o «¿De qué color es?» pero no plantearías este interrogante acerca, por ejemplo, de los celos o de la oración. De forma parecida, haces bien en preguntar el «¿por qué?» de los guardabarros de una bicicleta o del dique Kariba^[15], pero no tienes derecho a asumir que la pregunta de «¿Por qué?» merece una respuesta cuando se refiere a un bloque de granito, una desgracia, el monte Everest o el universo. Las preguntas pueden ser sencillamente inapropiadas, no importa lo sentida que sea su formulación.

En alguna parte entre los limpiaparabrisas y los abrelatas por un lado, y las rocas y el universo por otro, se encuentran las criaturas vivas. Los cuerpos vivos y sus órganos son objetos que, a diferencia de las rocas, parecen tener por todos lados un propósito escrito en ellos. Es obvio, por supuesto, que la aparente

intencionalidad de los cuerpos vivos ha dominado el clásico Argumento del Diseño invocado por los teólogos desde santo Tomás de Aquino, pasando por William Paley^[16], hasta los modernos creacionistas « científicos» .

Ahora se conoce bien el verdadero proceso que ha dotado a los ojos y las alas, a los picos, a los instintos de anidación y al resto de las cosas que tienen que ver con la vida, de la poderosa ilusión de un diseño intencionado. Es la selección natural darwiniana. Sorprendentemente, nuestra comprensión de esto es muy reciente, del último siglo y medio. Antes de Darwin, incluso la gente culta que había renunciado a las preguntas de « ¿Por qué?» para las rocas, los arroyos y los eclipses todavía aceptaban implícitamente la legitimidad de la pregunta de « ¿Por qué?» cuando se refería a las criaturas vivas. Hoy en día sólo lo hacen las personas sin cultura científica. Pero este « sólo» esconde la verdad difícil de digerir de que todavía estamos hablando de la mayoría absoluta de la gente.

En verdad, los darwinistas se plantean una especie de pregunta de « ¿por qué?» acerca de los seres vivos, pero lo hacen en un sentido especial y metafórico. ¿Por qué cantan los pájaros y para qué sirven sus alas? Tales preguntas serán aceptadas por los darwinistas modernos como un recurso conveniente y serán contestadas con respuestas sensatas en términos de selección natural de los ancestros de las aves. La ilusión del propósito es tan poderosa que los propios biólogos utilizan la premisa del buen diseño como una herramienta de trabajo. Como vimos en el capítulo anterior, Karl von Frisch descubrió, mucho antes de su obra sobre la danza de las abejas que marcó una época, y frente a una ortodoxa opinión contraria a ello, que algunos insectos poseen visión real en colores. Sus determinantes experimentos fueron inspirados por la sencilla observación de que las flores que son polinizadas por las abejas se toman muchas molestias para fabricar pigmentos coloreados. ¿Por qué habrían de hacerlo si las abejas fueran ciegas al color? La metáfora del propósito —para ser más precisos, la suposición de que la selección darwiniana está implicada— es utilizada aquí para hacer una poderosa inferencia acerca del mundo. Habría sido una gran equivocación por parte de Von Frisch haber dicho: « Las flores son de colores; por tanto, las abejas deben tener visión en color» . Pero era acertado decir, como dijo: « Las flores son de colores; por tanto, merece la pena tratar de comprobar mediante algunos experimentos nuevos la hipótesis de que las abejas tengan visión en color» . Cuando profundizó en la materia descubrió que tienen buena visión en color, pero el espectro que ellas ven está cambiado con relación al nuestro. No pueden ver la luz roja (podrían haberle dado el nombre de « infra-amarillo» a lo que nosotros llamamos rojo). Pero pueden ver dentro del rango de longitudes de onda más cortas que nosotros llamamos ultravioleta, y ven el ultravioleta como un color definido, llamado a veces « púrpura de abeja» .

Cuando se dio cuenta de que las abejas ven en la zona ultravioleta del espectro, Von Frisch utilizó de nuevo la metáfora del propósito para hacer algún

razonamiento. ¿Para qué?, preguntó, ¿utilizan las abejas el sentido ultravioleta? Sus pensamientos volvieron en círculo hasta el comienzo —hasta las flores—. Aunque nosotros no podamos ver la luz ultravioleta, podemos hacer papel fotográfico sensible a ella y filtros que son transparentes a la luz ultravioleta pero que retienen la luz «visible». Siguiendo sus presentimientos, Von Frisch tomó algunas fotografías ultravioletas de flores. Para su regocijo, vio patrones de puntos y bandas que ningún ojo humano había visto hasta entonces. Las flores que nos parecen amarillas o blancas realmente están decoradas con dibujos ultravioletas, que con frecuencia sirven como señalizadores de camino que guían a las abejas hasta los nectarios. La suposición de un propósito aparente había dado sus frutos una vez más: las flores, si estuvieran bien diseñadas, explotarían el hecho de que las abejas pueden ver las longitudes de onda ultravioletas.

Cuando Von Frisch era ya mayor, su obra más famosa (la de la danza de las abejas que tratamos en el anterior capítulo) fue cuestionada por un biólogo norteamericano llamado Adrián Wenner. Afortunadamente, vivió lo suficiente para ver su trabajo reivindicado por otro norteamericano, James L. Gould, ahora profesor de la Universidad de Princeton, en uno de los experimentos más brillantemente concebidos de toda la biología. Contaré la historia brevemente, y a que es relevante para mi idea del poder de la premisa «como si hubiera sido diseñado».

Wenner y sus colegas no negaban que la danza tuviera lugar. Tampoco negaban que contuviera toda la información que Von Frisch decía que contenía. Lo que negaban era que otras abejas pudieran leerla. Sí, dijo Wenner, es cierto que la dirección de la carrera en línea recta de la danza de agitación relativa a la vertical corresponde a la dirección del alimento con relación al sol. Pero no es cierto que otras abejas reciban esta información de la danza. Sí, es verdad que el ritmo de varios aspectos de la danza se puede interpretar como información sobre la distancia del alimento, pero no hay pruebas concluyentes de que otras abejas interpreten esta información. Podrían estar ignorándola. Las pruebas de Von Frisch, decían los escépticos, estaban contaminadas, y cuando repitieron sus experimentos con «controles» adecuados (es decir, contemplando los medios alternativos mediante los cuales las abejas podrían encontrar alimento), los resultados ya no apoyaban la hipótesis del lenguaje-danza de Von Frisch.

En este punto intervino en la historia Jim Gould con su exquisitamente ingenioso experimento. Gould se aprovechó de un dato sobre las abejas melíferas que se conoce hace mucho y que mencionamos en el capítulo anterior. Aunque danzan normalmente en la oscuridad utilizando la dirección del plano vertical como un símbolo de la dirección del sol en el plano horizontal, si enciendes una luz dentro de la colmena cambiarán sin esfuerzo a una manera probablemente más ancestral de hacer las cosas. En ese momento se olvidan completamente de la gravedad y utilizan la bombilla como si se tratase del sol, permitiéndola

determinar directamente el ángulo de la danza. Afortunadamente, no aparece confusión alguna cuando la que danza cambia su referencia de la gravedad a la bombilla. Las otras abejas que «leen» la danza cambian también su referencia, de forma que la danza aún conserva el mismo significado: las otras abejas todavía se lanzan en busca de alimento siguiendo la dirección que la danzarina pretendía.

Ahora vayamos al golpe maestro de Jim Gould. Pintó los ojos de una bailarina con goma laca negra, de manera que no pudiera ver la bombilla. Por tanto, ella bailó utilizando la convención normal de la gravedad. Pero las otras abejas que no tenían antifaz podían ver la bombilla e interpretaron la danza como si la convención de la gravedad hubiera sido depuesta y reemplazada por la convención del «sobre» bombilla. Las espectadoras midieron el ángulo de la danza con relación a la luz, mientras la propia bailarina lo alineaba con relación a la gravedad. Gould, en efecto, estaba forzando a la abeja bailarina a mentir acerca de la dirección del alimento. No sólo mentir en sentido general, sino mentir en una dirección particular que Gould podía manipular con precisión. Por supuesto, realizó el experimento no sólo con una abeja con antifaz, sino con una adecuada muestra estadística de ellas y diversos ángulos manipulados. Funcionó. La hipótesis original del lenguaje-danza de Von Frisch fue triunfalmente reivindicada.

No he contado esta historia por diversión. Quería dejar claros tanto los aspectos negativos como los positivos de la suposición del buen diseño. Cuando leí por primera vez los escépticos artículos de Wenner y sus colegas me sentí abiertamente displicente. Y esta actitud no era buena, incluso aunque finalmente Wenner resultara estar equivocado. Mi displicencia estaba enteramente basada en la suposición del «buen diseño». Después de todo, Wenner no estaba negando que la danza tuviera lugar, ni tampoco que personificara toda la información sobre la distancia y la dirección del alimento que Von Frisch afirmaba. Wenner simplemente negaba que las otras abejas leyeran la información y esto era demasiado difícil de digerir para mí y para otros biólogos darwinistas. La danza era tan complicada, estaba tan ricamente ingenziata y afinada con tanta precisión para su propósito aparente de informar a las demás abejas de la distancia y dirección del alimento... que este ajuste tan preciso no podría haber aparecido, según nuestra perspectiva, de otra manera que no fuese mediante selección natural. De alguna forma caímos en la misma trampa en la que caen los creacionistas cuando contemplan las maravillas de la vida. La danza sencillamente tenía que tener una utilidad y presumiblemente eso significaba ayudar a las recolectoras a encontrar más alimento. Es más, aquellos aspectos concretos de la danza que estaban tan precisamente afinados —la relación de su ángulo y velocidad con la dirección y distancia del alimento— también tenían que estar haciendo algo útil. Por consiguiente, desde nuestra perspectiva, Wenner

sólo podía estar equivocado. Tan seguro estaba y que, incluso si hubiera sido lo suficientemente ingenioso como para que se me ocurriera el experimento del antifaz de Gould (lo que ciertamente no soy), no me habría molestado en llevarlo a cabo.

Gould no sólo era lo suficientemente ingenioso como para concebir el experimento, sino que además se molestó en hacerlo, ya que él no estaba seducido por la premisa del buen diseño. Sin embargo, andamos sobre una cuerda floja, ya que sospecho que Gould —como Von Frisch antes que él en su investigación sobre el color— tenía en su cabeza la suficiente ración de «buen diseño» como para creer que su extraordinario experimento tenía posibilidades respetables de tener éxito y que de ese modo merecía la pena perder tiempo y esfuerzo en él.

Ahora quiero presentar dos términos técnicos, «ingeniería inversa» y «función de utilidad». En esta sección estoy bajo el influjo del soberbio libro de Daniel Dennett *La peligrosa idea de Darwin (Darwin's Dangerous Idea)*. La ingeniería inversa es una técnica de razonamiento que funciona así. Tú eres un ingeniero enfrentado a un artefacto que has encontrado y que no comprendes. Haces la hipótesis de trabajo de que fue diseñado para algún propósito. Diseccionas y analizas el objeto con vistas a solucionar qué problema sería bueno resolviendo: «Si yo hubiera querido hacer una máquina para hacer esto y aquello, ¿la habría hecho así?, ¿o se explica mejor el objeto como una máquina diseñada para hacer esto y lo otro?».

La regla de cálculo, hasta hace poco talismán de la honorable profesión de ingeniero, es tan obsoleta en la era electrónica como cualquier reliquia de la Edad del Bronce. Un arqueólogo del futuro que encontrara una regla de cálculo y se preguntara sobre ella podría darse cuenta de que es práctica para trazar líneas rectas o para poner mantequilla en el pan. Pero asumir que cualquiera de ellos fuera su propósito original viola la premisa de la economía. Un simple eje recto o un cuchillo para la mantequilla no habría necesitado un miembro deslizante en medio de la regla. Es más, si examinas el espaciado de las cuadrículas encuentras escalas logarítmicas exactas, dispuestas demasiado meticulosamente como para ser accidentales. El arqueólogo caería en la cuenta de que, en una época anterior a las calculadoras electrónicas, este diseño constituiría un ingenioso truco para hacer multiplicaciones y divisiones rápidas. El misterio de la regla de cálculo se resolvería mediante ingeniería inversa, empleando la premisa de diseño inteligente y económico.

«Función de utilidad» no es un término técnico de los ingenieros sino de los economistas. Significa «aquello que es potenciado al máximo o maximizado». Los planificadores económicos y los ingenieros sociales son más bien como arquitectos e ingenieros reales en el sentido de que luchan por maximizar algo. Los utilitaristas luchan por maximizar «la mayor felicidad para el mayor

número» (frase que, por cierto, suena más inteligente de lo que es). Bajo este parasol, los utilitaristas podrían dar mayor o menor prioridad a la estabilidad a largo plazo a expensas de la felicidad a corto plazo y difieren entre ellos en si miden la «felicidad» por el bienestar monetario, la satisfacción laboral, la realización cultural o las relaciones personales. Otros maximizan declaradamente su propia felicidad a expensas del bienestar común y pueden dignificar su egoísmo mediante una filosofía que afirma que la felicidad general será maximizada si cada uno se cuida a sí mismo. Si observas el comportamiento de los individuos a lo largo de sus vidas deberías ser capaz de adivinar sus funciones de utilidad mediante ingeniería inversa. Si analizas mediante ingeniería inversa el comportamiento del gobierno de un país, puedes concluir que lo que se está maximizando es el empleo y el bienestar global. Para otro país, la función de utilidad podría resultar ser el poder continuado del presidente o el bienestar de una familia dominante en concreto, el tamaño del harén del sultán, la estabilidad del Cercano Oriente o el mantenimiento del precio del crudo. La idea es que se puede imaginar más de una función de utilidad. No siempre es obvio lo que los individuos, las empresas o los gobiernos están luchando por maximizar, pero probablemente puedes asumir con seguridad que están maximizando algo. Esto se debe a que el *Homo sapiens* es una especie profundamente movida por la intención. El principio se mantiene bien incluso si la función de utilidad resulta ser una suma ponderada o alguna otra complicada función de muchas variables.

Volvamos a los cuerpos vivos e intentemos extraer su función de utilidad. Podría haber muchas pero, de forma reveladora, resultará finalmente que quedan todas reducidas a una. Una buena manera de hacer una representación dramática de nuestra tarea es imaginar que las criaturas vivas fueran hechas por un Ingeniero Divino y tratar de resolver mediante ingeniería inversa lo que el Ingeniero estaba intentando maximizar: ¿Cuál es la Función de Utilidad de Dios?

Los guepardos dan todas las indicaciones de estar soberbiamente diseñados para algo y debería ser bastante fácil analizarlos mediante ingeniería inversa y resolver su función de utilidad. Parecen estar bien diseñados para matar antílopes. Los dientes, las garras, los ojos, la nariz, los músculos de las patas, la columna vertebral y el cerebro de un guepardo son exactamente lo que cabría esperar si el propósito de Dios en el diseño de los guepardos fuera maximizar las bajas entre los antílopes. Por otro lado, si analizamos un antílope mediante ingeniería inversa encontraremos pruebas igualmente impresionantes de diseño para el fin exactamente opuesto: la supervivencia de los antílopes y la inanición entre los guepardos. Es como si los guepardos hubieran sido diseñados por una deidad y los antílopes por otra deidad rival. Si no es así, si sólo hay un Creador que hizo al tigre y al cordero, al guepardo y a la gacela, ¿a qué está jugando? ¿Es un sádico que disfruta de la contemplación de deportes sangrientos? ¿Está tratando de evitar la superpoblación de mamíferos en África? ¿Está conspirando

para maximizar los índices de audiencia televisivos de David Attenborough? Todas estas son funciones de utilidad comprensibles que podrían haber resultado ser ciertas. De hecho, por supuesto, son todas completamente falsas. Ahora entendemos con gran detalle la única Función de Utilidad de la vida y no se parece nada a ninguna de ellas.

El capítulo 1 habrá preparado al lector para la perspectiva de que la verdadera función de utilidad de la vida, la que está siendo maximizada en el mundo natural, es la supervivencia del ADN. Pero el ADN no está flotando libre, está encerrado dentro de cuerpos vivos y tiene que sacar el mayor beneficio de las palancas de poder a su disposición. Las secuencias de ADN albergadas en los cuerpos de los guepardos maximizan su supervivencia causando que esos cuerpos maten gacelas. Las secuencias albergadas en los cuerpos de las gacelas maximizan su supervivencia fomentando fines opuestos. Pero en ambos casos, es la supervivencia del ADN lo que está siendo potenciado al máximo. En este capítulo voy a utilizar la ingeniería inversa para trabajar sobre un número de ejemplos prácticos y voy a mostrar cómo todo tiene sentido una vez que asumimos que es la supervivencia del ADN lo que está siendo maximizado.

La proporción sexual —la proporción entre machos y hembras— en las poblaciones salvajes es normalmente 50:50. Esto parece no tener ningún sentido económico en aquellas especies en las que una minoría de machos tiene el injusto monopolio de las hembras: el sistema de harén. En una bien estudiada población de elefantes marinos, el 4 por 100 de los machos daban cuenta del 88 por 100 de las cópulas. No importa que la Función de Utilidad de Dios en este caso parezca tan injusta para la mayoría de solteros. Lo que es peor, una deidad que reduce los costes y tiene mentalidad de rendimiento estaría obligada a reconocer que el desaventajado 96 por 100 está consumiendo la mitad de los recursos alimenticios de la población (de hecho, más de la mitad, ya que los elefantes marinos machos son mucho más grandes que las hembras). Los solteros sobrantes se limitan a esperar una oportunidad para desplazar a uno del afortunado 4 por 100 de dueños de un harén. ¿Cómo podríamos justificar la existencia de estas desmesuradas hordas de solteros? Cualquier función de utilidad que prestara incluso escasa atención a la eficiencia económica de la comunidad prescindiría de ellos. En su lugar, sólo nacerían los machos suficientes para fertilizar a las hembras. Esta aparente anomalía queda explicada de nuevo con elegante sencillez una vez que comprendes la verdadera Función de Utilidad darwinista: maximizar la supervivencia del ADN.

Trataré con cierto detalle el ejemplo de la proporción sexual, puesto que su función de utilidad se presta sutilmente a un tratamiento económico. Charles Darwin reconocía su perplejidad: «Antes creía que cuando una tendencia a producir los dos sexos en igual número era ventajosa para la especie, ésta continuaba mediante selección natural, pero ahora compruebo que el problema

global es tan intrincado que es más fiable dejar su solución para el futuro». Y como siempre, era el gran sir Ronald Fisher quien se erguía en el futuro de Darwin. Fisher razonó de la siguiente manera.

Todos los individuos nacidos tienen exactamente una madre y un padre. Por tanto, el éxito reproductivo total, medido en descendientes lejanos, de todos los machos vivos debe igualar al de las hembras vivas. No quiero decir cada uno de los machos y hembras, porque algunos individuos evidente y relevantemente tienen más éxito que otros; estoy hablando de la totalidad de los machos comparada con la totalidad de las hembras. Esta posteridad total debe ser dividida entre los individuos macho y los hembra —no dividida igualitariamente, pero dividida—. El pastel reproductivo que hay que repartir entre todos los machos es igual al pastel que hay que repartir entre todas las hembras. Por tanto, si hay, por ejemplo, más machos que hembras en la población, la porción media de pastel por macho debe ser más pequeña que la porción media por hembra. De esto se deriva que el éxito reproductivo medio (es decir, el número previsto de descendientes) de un macho comparado con el éxito reproductivo medio de una hembra está exclusivamente determinado por la proporción macho-hembra. Un miembro típico del sexo minoritario tiene un éxito reproductivo mayor que un miembro típico del sexo mayoritario. Sólo si la proporción sexual es equitativa y no hay minoría, los sexos disfrutarán del mismo éxito reproductivo. Esta conclusión extraordinariamente sencilla es consecuencia de la pura lógica de sillón. No descansa sobre ningún hecho empírico en absoluto, a excepción del hecho fundamental de que todos los niños que nacen tienen un padre y una madre.

El sexo normalmente es determinado en el momento de la concepción, así que podríamos asumir que un individuo o individuo (por una vez el circunloquio no es ritual sino necesario) no tiene poder alguno para determinar su sexo. Asumiremos, junto con Fisher, que un progenitor podría tener poder para determinar el sexo de su cría. Por «poder», por supuesto, no queremos decir poder ejercido consciente o deliberadamente, pero una madre podría estar predispuesta genéticamente a generar compuestos químicos vaginales ligeramente hostiles a los espermatozoides productores de hijos, pero no a los productores de hijas. O un padre podría tener tendencia genética a fabricar más espermatozoides productores de hijas que productores de hijos. Sea como sea en la práctica, imagina que eres un progenitor intentando decidir si tener un hijo o una hija. Una vez más, no estamos hablando de decisiones conscientes sino de la selección de generaciones de genes que actúan en los cuerpos para influenciar el sexo de su prole.

Si estuvieras intentando maximizar tu número de nietos, ¿qué deberías tener, un hijo o una hija? Ya hemos visto que deberías tener un vástago de cualquiera que sea el sexo que esté en minoría en la población. De esta manera, tu hijo o

hija puede esperar tener una porción relativamente grande de actividad reproductora y tú puedes esperar un número relativamente grande de nietos. Si ninguno de los sexos es más escaso que el otro —si, en otras palabras, la proporción es de hecho 50:50— preferir un sexo o el otro no te beneficiará. No importa si tienes un hijo o una hija. La proporción de 50:50 se califica por ello evolutivamente estable, utilizando el término acuñado por el gran evolucionista inglés John Maynard Smith. Sólo si la proporción de sexos es distinta a 50:50 tiene sentido una preferencia en tu elección. En cuanto a la cuestión de por qué los individuos deberían intentar maximizar sus nietos y descendientes posteriores, casi no necesita respuesta. Los genes que causan que los individuos maximicen su descendencia son los genes que podemos esperar encontrarlos en el mundo. Los animales a los que estamos mirando heredan los genes de ancestros con éxito.

Es tentador expresar la teoría de Fisher diciendo que 50:50 es la proporción sexual «óptima», pero esto es radicalmente incorrecto. El sexo óptimo que deberíamos elegir para un niño es macho, si los machos están en minoría, y hembra si las hembras están en minoría. Si ninguno de los sexos es minoritario no hay óptimo: al progenitor bien diseñado le trae completamente sin cuidado tener un hijo o una hija. Cincuenta a cincuenta se dice que es la proporción sexual evolutivamente estable porque la selección natural no favorece ninguna tendencia que se desvíe de ella y, si hay alguna desviación, favorece la tendencia a compensar este equilibrio.

Además, Fisher se dio cuenta de que lo que la selección natural mantiene a 50:50 no es estrictamente el número de machos y hembras, sino lo que él llamó « los gastos parentales» en hijos e hijas. Gasto parental significa todo el alimento obtenido con esfuerzo que los padres ponen en la boca de un niño; y todo el tiempo y energía que gastan cuidando de él, que de no ser así podrían haber gastado haciendo cualquier otra cosa, como cuidar de otro niño. Supongamos, por ejemplo, que los progenitores de una especie particular de foca emplean en condiciones normales el doble de tiempo y energía en criar a un hijo que en criar a una hija. Los machos de las vacas marinas son tan enormes comparados con las hembras que es fácil creer (aunque probablemente de hecho sea inexacto) que éste podría ser el caso. Piensa en lo que significaría. La verdadera elección abierta al progenitor no es « ¿Debería tener un hijo o una hija?» , sino « ¿Debería tener un hijo o dos hijas?» . Esto se debe a que, con el alimento y los demás bienes necesarios para criar a un hijo podrías haber criado a dos hijas. La proporción sexual evolutivamente estable, medida en número de cuerpos, sería entonces de dos hembras por cada macho. Pero medida en cantidades de gasto parental (como opuesta a número de individuos), la proporción sexual evolutivamente estable todavía es 50:50. La teoría de Fisher conduce a un equilibrado de los gastos en los dos sexos. Esto frecuentemente, como suele suceder, resulta ser lo mismo que equilibrar los números de los dos sexos.

Incluso en las focas, como dije, parece como si la cantidad de gastos parentales en los hijos fuera sensiblemente diferente a la gastada en las hijas. La enorme desigualdad en el peso parece producirse después del gasto parental. Así que la decisión a la que tiene que enfrentarse un progenitor sigue siendo « ¿Debo tener un hijo o una hija? ». Aun cuando el coste total del crecimiento de un hijo hasta la madurez sea mucho mayor que el coste total del crecimiento de una hija, si el coste adicional no es pagado por el que toma la decisión (el progenitor) esto es todo lo que importa en la teoría de Fisher.

La regla de Fisher sobre equilibrar el gasto también se cumple en aquellos casos en los que un sexo sufre una tasa de mortalidad mayor que el otro. Supongamos, por ejemplo, que los bebés macho tienen más probabilidad de morir que los bebés hembra. Si la proporción sexual en el momento de la concepción es exactamente 50:50, los machos que lleguen a hacerse adultos serán sobrepasados en número por las hembras. Ellos son, por tanto, el sexo minoritario y esperaríamos ingenuamente que la selección natural favoreciera a los progenitores que se especializan en machos. Fisher lo esperaría también, pero sólo hasta un punto —y un punto limitado con precisión—. Él no esperaría que los progenitores concibieran un excedente tal de hijos varones que su mayor mortalidad infantil fuera compensada, conduciendo así a la igualdad en la población de reproductores. No, la proporción sexual en la concepción debería estar de alguna manera sesgada a favor de los machos, pero sólo hasta el punto en el que se espera que el gasto total en hijos iguale el gasto total en hijas.

Una vez más, la manera más sencilla de pensar en esto es ponerse uno mismo en la posición del progenitor que toma la decisión y plantear la pregunta « ¿Debería tener una hija, que probablemente sobrevivirá, o un hijo que podría morir en la infancia? ». La decisión de producir nietos por la vía de los hijos varones conlleva la posibilidad de tener que gastar más recursos en unos cuantos hijos varones extra para reemplazar a los que van a morir. Podemos imaginar a cada hijo superviviente llevando a costas el fantasma de sus hermanos muertos. Los acarrea a la espalda en el sentido de que la decisión de tratar de conseguir nietos por la ruta de los hijos varones abre ante el progenitor la posibilidad de algunos gastos adicionales, gastos que serán despilfarrados en crías macho muertas. La regla fundamental de Fisher todavía se mantiene intacta. La cantidad total de bienes y energía invertidos en hijos varones (incluyendo la alimentación de algunos bebés hasta el momento en que mueren) igualará a la cantidad total invertida en hijas.

¿Qué sucedería si, en vez de una mortalidad infantil masculina más alta hubiera una mortalidad masculina más alta, pero posterior al gasto parental? De hecho, esto sucederá con frecuencia, ya que los machos adultos frecuentemente luchan y se hieren los unos a los otros. Esta circunstancia conducirá también a un excedente de hembras en la población reproductora. El análisis de este hecho,

por tanto, parecería favorecer a los padres que se especializan en hijos, obteniendo así una ventaja de la escasez de los machos en la población reproductora. Sin embargo, si profundizamos un poco más nos daremos cuenta de que este razonamiento es falaz. La disyuntiva a la que se enfrenta un progenitor es la siguiente: «¿Debo tener un hijo, que probablemente acabará siendo asesinado en una batalla después de que hayamos terminado de criarlo, pero que si sobrevive me dará especialmente muchos nietos?, ¿o debo tener una hija, que con bastante seguridad me dará un número medio de nietos?». El número de nietos que puedes esperar a través de un hijo varón sigue siendo todavía el mismo que el número medio de nietos que puedes esperar a través de una hija. Y el coste de hacer un hijo sigue siendo el coste de alimentarle y protegerle hasta que abandone el nido. El hecho de que sea probable que le maten poco después de abandonar el nido no cambia el cálculo.

En todo este razonamiento, Fisher asumió que «el que toma las decisiones» es el progenitor. El cálculo cambia si es otra persona. Supongamos, por ejemplo, que un individuo pudiera influir en su propio sexo. Una vez más, no quiero decir influir mediante intención consciente. Estoy planteando la hipótesis de que hubiera genes que desviarán el desarrollo de un individuo hacia la ruta masculina o hacia la femenina y que dependieran de pistas que proporcionara el entorno. Siguiendo nuestra convención habitual, y para abreviar, utilizaré el lenguaje de la elección deliberada por parte de un individuo, en este caso la elección deliberada de su propio sexo. Si se les garantizara este poder de elección flexible a animales con una estructura social basada en harenes, como los elefantes marinos, el efecto sería dramático. Los individuos aspirarían a ser machos poseedores de harenes, pero si no consiguieran tener un harén preferirían con mucho ser hembras que machos solteros. La proporción sexual en la población se desviaría fuertemente hacia las hembras. Desgraciadamente, los elefantes marinos no pueden reconsiderar el sexo que les fue dado en el momento de la concepción, pero algunos peces pueden. Los machos del cara de cotorra son grandes y de colores brillantes, y poseen harenes de hembras de color monótono. Algunas hembras son más grandes que otras y forman una jerarquía dominante. Si un macho muere, su lugar es ocupado rápidamente por la hembra más grande que pronto se convierte en un macho de colores brillantes. Estos peces obtienen lo mejor de ambos mundos. En vez de desperdiciar sus vidas como machos solteros, esperando la muerte de algún macho dominante que sea dueño de un harén, emplean el tiempo de espera siendo hembras reproductivas. La proporción sexual del cara de cotorra es muy rara, puesto que en ella la Función de Utilidad de Dios coincide con algo que un economista social podría considerar prudente.

Así que hemos considerado tanto el caso de que el que toma la decisión sea uno mismo como el de que sean los padres. ¿Quién más podría ser? En los

insectos sociales las que toman las decisiones de inversión son, en gran medida, las obreras estériles que normalmente serán las hermanas mayores (y en el caso de las termitas también los hermanos) de las larvas que están siendo criadas. Las abejas melíferas están entre los insectos sociales más familiares. A estas alturas, aquellos de mis lectores que sean aficionados a la apicultura podrían haber caído en la cuenta de que la proporción sexual en la colmena no parece, a simple vista, ajustarse a las expectativas de Fisher. Lo primero que hay que aclarar es que las obreras no deben ser contadas como hembras. Técnicamente lo son, pero no se reproducen, así que la proporción sexual regulada de acuerdo con la teoría de Fisher sería la proporción de zánganos (machos) contra las nuevas reinas que la colmena produce. En el caso de las hormigas y las abejas hay razones técnicas especiales (que discutí en *El gen egoísta* y no repetiré aquí) para esperar que la proporción sexual sea 3:1 en favor de las hembras. Sin embargo, como cualquier apicultor sabe, la verdadera proporción sexual está muy alejada de esto y fuertemente desviada hacia los machos. Una colmena floreciente puede producir media docena de nuevas reinas en una estación, pero cientos o incluso miles de zánganos.

¿Qué está pasando aquí? Como sucede con tanta frecuencia en el campo de la teoría evolutiva moderna, debemos la respuesta a W. D. Hamilton, ahora en la Universidad de Oxford. Es reveladora y es la personificación de toda la teoría de las proporciones sexuales inspirada en Fisher. La clave del enigma de la proporción sexual en las abejas descansa en el extraordinario fenómeno del enjambre. Una colmena es, en muchos aspectos, como un único individuo. Crece hasta la madurez, se reproduce y con el tiempo muere. El resultado reproductivo de una colmena es un enjambre. A mediados del verano, cuando una colmena ha sido realmente próspera, expulsa al exterior una colonia hija: un enjambre. La producción de enjambres es el equivalente de la reproducción para la colmena. Si la colmena es una fábrica, los enjambres son el producto final, llevando con ellos los preciosos genes de la colonia. Un enjambre comprende una reina y varios miles de obreras, que dejan la colmena madre como si fueran un solo cuerpo y se reúnen formando un denso grupo que cuelga de una rama o una roca. Este será su campamento temporal mientras exploran en busca de un hogar permanente. En unos días encuentran una cueva o un árbol hueco (o más normalmente hoy en día, son capturadas por un apicultor, quizá el original, y son albergadas en un nuevo panal).

El negocio de una colmena próspera es expulsar enjambres hijos. El primer paso para hacerlo es fabricar una nueva reina. Normalmente se producen alrededor de media docena de nuevas reinas, de las cuales sólo una está destinada a vivir. La primera que sale del huevo agujereada a las otras hasta la muerte (presumiblemente, el excedente de reinas está ahí con el único propósito de asegurar el negocio). Las reinas son genéticamente intercambiables con las

obreras, pero son criadas en unas celdas reales especiales que cuelgan bajo el panal y son alimentadas a base de una dieta especialmente rica para nutrir reinas. Esta dieta incluye jalea real, la sustancia a la que la escritora y dama^[17] Barbara Cartland atribuía románticamente su larga vida y su porte majestuoso. Las abejas obreras son criadas en celdas más pequeñas, las mismas que se utilizan más tarde para almacenar la miel. Los zánganos son diferentes genéticamente. Salen de huevos no fertilizados. Es extraordinario que sea la reina la que decide si un huevo se convertirá en un zángano o en una hembra (reina/obrero). Una abeja reina sólo copula al comienzo de su vida adulta, durante un único vuelo de apareamiento, y almacena dentro de su cuerpo esperma para el resto de su vida. Mientras el óvulo desciende por el oviducto, ella puede o no liberar un pequeño paquete de esperma de su almacén para fertilizarlo. La reina tiene, por tanto, el control de la proporción sexual entre los huevos. Más tarde, sin embargo, son las obreras las que parecen tener todo el poder, pues son ellas las que controlan el suministro de alimento de las larvas. Podrían, por ejemplo, dejar morir de hambre a algunas larvas macho si la reina puso (desde su punto de vista) demasiados huevos macho. En cualquier caso, las obreras tienen el control sobre si un huevo hembra terminará siendo una obrera o una reina, puesto que esto depende únicamente de las condiciones de cría, especialmente de la dieta.

Volvamos ahora a nuestro problema de la proporción sexual y estudiemos la decisión a la que se enfrentan las obreras. Como hemos visto, a diferencia de la reina, no están eligiendo si producir hijos o hijas, sino si producir hermanos (zánganos) o hermanas (reinas jóvenes). Y ahora nos encontramos de nuevo frente al enigma, ya que la verdadera proporción sexual parece estar enormemente desviada hacia los machos, lo cual no tiene sentido desde el punto de vista de Fisher. Analicemos con más detenimiento la disyuntiva de las obreras. He dicho que era una elección entre hermanos o hermanas; pero detengámonos un momento. La decisión de criar un hermano es, de hecho, simplemente eso: compromete a la colmena a suministrar alimento o cualquier otro recurso que sea necesario para criar un zángano. Pero la decisión de criar una nueva reina compromete a la colmena a suministrar mucho más que únicamente los recursos necesarios para nutrir el cuerpo de ésta; la decisión de criar a una nueva reina es equivalente al compromiso de suministrar un enjambre. El verdadero coste de una nueva reina no es el de la insignificante cantidad de jalea real y otros alimentos que ella comerá. Fundamentalmente, consiste en el coste de crear todos los miles de obreras que la colmena perderá cuando el enjambre parta.

Esta es, casi con seguridad, la verdadera explicación de la aparentemente anómala desviación hacia los machos en la proporción sexual. Resulta ser un ejemplo extremo de lo que he discutido antes. La regla de Fisher establece que la cantidad de gasto en hembras y en machos debe ser igual, no el recuento censal

de individuos macho y hembra. El gasto en una nueva reina implica una inversión enorme en obreras que de no ser así la colmena no habría perdido. Es igual que nuestra hipotética población de focas, en la cual cuesta el doble criar a un sexo que al otro, con el resultado de que ese sexo es la mitad de numeroso. En el caso de las abejas una reina cuesta cientos o incluso miles de veces más que un zángano, porque ella acarrea sobre su espalda el coste de todas las obreras extra necesarias para el enjambre. De esta manera las reinas son cientos de veces menos numerosas que los zánganos. Hay una sorpresa adicional en este curioso relato: cuando un enjambre parte, misteriosamente contiene a la vieja reina, no a la nueva. Sin embargo, la economía es la misma. La decisión de hacer una nueva reina sigue implicando la producción del enjambre necesario para escoltar a la vieja reina hasta su nuevo hogar.

Para rematar nuestro tratamiento de las proporciones sexuales volvemos al enigma de los harenes con el que empezamos: esa despilfarradora estructura en la que una gran manada de solteros consume casi la mitad (o incluso más) de los recursos alimenticios de la población pero que nunca se reproduce o hace ninguna otra cosa útil. En este caso es obvio que no es el bienestar económico de la población lo que está siendo maximizado. ¿Qué está sucediendo entonces? Pongámonos una vez más en la posición del que toma la decisión —digamos una madre tratando de «decidir» si tiene un hijo o una hija para maximizar así su cantidad de nietos—. Su decisión está, a ingenua primera vista, sesgada: «¿Debería tener un hijo, que probablemente terminará soltero y no me dará ningún nieto, o una hija que probablemente terminará en un harén y me dará un número aceptable de nietos?». La respuesta apropiada a esta futura madre es «Pero si tienes un hijo, podría acabar teniendo un harén, en cuyo caso te daría muchos más nietos de los que podrías esperar conseguir teniendo una hija». Supongamos, para simplificar, que todas las hembras se reproducen según el promedio y que nueve de cada diez machos nunca se reproducen, mientras uno de cada diez monopoliza a las hembras. Si tienes una hija, puedes contar con un número medio de nietos. Si tienes un hijo, tienes una probabilidad del 90 por 100 de no tener nietos pero una probabilidad del 10 por 100 de tener diez veces más nietos que el número medio. El promedio de nietos que puedes esperar de tus hijos varones es el mismo que el que puedes esperar de tus hijas. La selección natural sigue favoreciendo una proporción sexual de 50:50, incluso aunque la razón económica, en términos de especie, esté pidiendo a gritos un excedente de hembras. La regla de Fisher todavía se mantiene.

He expresado todo este razonamiento en términos de «decisiones» tomadas por animales individuales pero he de repetir que esto sólo es un recurso para abreviar. Lo que realmente sucede es que los genes «a favor» de maximizar a los nietos se hacen más numerosos en el fondo genético. El mundo acaba lleno de genes que han sido transmitidos con éxito a través de las eras. ¿Cómo puede un

gen tener éxito en pasar a través de las eras si no es influenciando las decisiones de los individuos para que maximicen su número de descendientes? La teoría de la proporción sexual de Fisher nos dice cómo se debería realizar esta maximización y difiere mucho de maximizar el bienestar económico de la especie o de la población. Aquí hay una función de utilidad, pero está lejos de la función de utilidad que imaginarían nuestras económicas mentes humanas.

El derroche de la economía del harén se puede resumir de la siguiente forma: los machos, en vez de dedicarse a un trabajo útil, despilfarran su energía y su fuerza en vanas luchas unos contra otros. Esto es cierto incluso aunque definamos «útil» en un sentido darwiniano, como algo relacionado con la crianza de hijos. Si los machos encauzaran en tareas útiles la energía que gastan compitiendo unos con otros, la especie globalmente criaría más hijos con menos esfuerzo y consumiendo menos alimento.

Un experto en trabajo contemplaría horrorizado el mundo del elefante marino. Un paralelismo aproximado sería el siguiente. Un taller no necesita más de diez hombres para que funcione, puesto que sólo hay diez tornos en el taller. En vez de emplear sencillamente a diez hombres, la dirección decide emplear cien. Todos los días, los cien hombres aparecen y recogen su salario. Después se pasan el resto de la jornada luchando por la posesión de los diez tornos. Los tornos producen algunos artículos pero no más de los que diez hombres habrían producido y probablemente menos, puesto que los cien hombres están tan ocupados luchando que no manejan los tornos de forma eficiente. El experto en trabajo no albergaría duda alguna. El 90 por 100 de los hombres sobran y se les debería notificar esta circunstancia junto con su despido.

Los animales macho no sólo desperdician sus esfuerzos en el combate físico —definiendo «desperdiciar» una vez más desde el punto de vista del economista humano o del experto en trabajo—. En muchas especies también tiene lugar un concurso de belleza. Esto nos lleva a otra función de utilidad que los humanos podemos apreciar aunque no tenga un sentido económico directo: la belleza estética. En principio podría parecer como si la Función de Utilidad de Dios siguiera a veces las directrices del (ahora afortunadamente pasado de moda) concurso de Miss Mundo, pero con machos desfilando por la pasarela. Esto se observa con la mayor claridad en los así llamados leks de aves tales como el urogallo y el combatiente. Un lek es una parcela de terreno tradicionalmente utilizada por las aves macho para desfilarse frente a las hembras. Las hembras visitan el lek y observan las cimbreantes exhibiciones de un buen número de machos antes de señalar a uno en particular y copular con él. Los machos de las especies con lek poseen frecuentemente adornos estrafalarios, que exhiben junto con unos igualmente extraordinarios movimientos de arqueado y reverencia y extraños ruidos. La palabra «estrafalario» es, por supuesto, un juicio de valor subjetivo; presumiblemente, el macho del urogallo, con su pomposa danza

acompañada de ruidos parecidos a los del descorchado de una botella, no resulta estrafalario a las hembras de su propia especie y esto es lo único que importa. En algunos casos, la idea de belleza de las aves hembra coincide casualmente con la nuestra y el resultado es un pavo real o un ave del paraíso.

Los trinos de los ruiseñores, las colas de los faisanes, los destellos de las luciérnagas y las escamas irisadas de los peces del arrecife tropical están todos maximizando la belleza estética, pero no es —o lo es pero sólo por casualidad— belleza para la delectación humana. Si disfrutamos del espectáculo es un extra, un subproducto. Los genes que hacen a los machos atractivos a las hembras se ven automáticamente transmitidos por el río digital hasta el futuro. Sólo hay una función de utilidad que dote de sentido a esta belleza; la misma que explica la proporción sexual de los elefantes marinos, las superficialmente fútiles competiciones de velocidad entre los guepardos y los antílopes, los cucos y los piojos, los oídos y los ojos y las tráqueas, las hormigas obreras estériles y las reinas superfértiles. La gran y universal Función de Utilidad, la incógnita que está siendo diligentemente maximizada en cada ranura del mundo viviente es, en todos los casos, la supervivencia del ADN responsable de la característica que estés intentando explicar.

Los pavos reales cargan con galas tan pesadas y farragosas que dificultarían gravemente sus esfuerzos para hacer trabajo útil, incluso si se sintieran inclinados a hacer trabajo útil —lo cual, generalmente no sucede—. Los machos de las aves cantoras destinan cantidades peligrosas de tiempo y energía a cantar. Esto realmente les pone en peligro, no sólo porque atrae depredadores sino porque es un sumidero de energía y consume tiempo que podría ser empleado en recuperar esa energía. Un estudioso de la biología del chochín afirmaba que uno de sus machos salvajes había cantado literalmente hasta la muerte. Cualquier función de utilidad que tuviera como objetivo el bienestar a largo plazo de la especie, incluida la supervivencia a largo plazo de este individuo macho en particular, reduciría la cantidad de canto, la cantidad de exhibición, la cantidad de lucha entre los machos. Pero, puesto que lo que está siendo verdaderamente maximizado es la supervivencia del ADN, nada puede detener la expansión del ADN que no tiene otro efecto beneficioso que no sea hacer a los machos más bellos a los ojos de las hembras. La belleza no es una virtud absoluta en sí misma. Pero inevitablemente, si hay algunos genes que confieren a los machos cualesquiera que sean las cualidades que las hembras de la especie encuentran deseables por casualidad, aquellos genes, sea como sea, sobrevivirán.

¿Por qué son tan altos los árboles de la selva? Sencillamente, para sobrepasar a sus rivales arbóreos. Una función de utilidad «sensata» se aseguraría de que todos ellos fueran bajos. Obtendrían exactamente la misma cantidad de luz del sol, con mucho menos gasto en troncos gruesos y enormes contrafuertes de sujeción. Pero si fueran todos bajos, la selección natural no podría evitar

favorecer a un individuo variante que creciera un poco más. Habiéndose elevado la apuesta, los otros tendrían que aceptarla rápidamente. Nada puede detener la partida global hasta que todos los árboles son absurda y despilfarradoramente altos. Sólo es absurdo y despilfarrador desde el punto de vista de un planificador económico racional que piensa en términos de maximizar la eficiencia. Pero todo cobra sentido una vez que comprendemos la verdadera función de utilidad —los genes están maximizando su propia supervivencia—. Las analogías caseras abundan. En una fiesta gritas hasta quedarte ronco. La razón de ello es que todo el mundo está gritando al volumen máximo. Sólo con que los invitados llegaran a un acuerdo para susurrar se oirían perfectamente los unos a los otros además de forzar menos la voz y gastar menos energía. Pero los acuerdos como éste no funcionan a menos que sean vigilados por la policía. Siempre hay alguien que los estropea de forma egoísta hablando un poco más alto y, uno por uno, el resto tiene que seguirle rápidamente. Sólo se alcanza un equilibrio estable cuando todo el mundo está gritando tan fuerte como le es fisiológicamente posible y esto es mucho más alto de lo necesario desde el punto de vista «racional». Una y otra vez, la restricción cooperativa acaba siendo frustrada por su propia inestabilidad interna. La Función de Utilidad de Dios raramente resulta ser el mayor bien para el mayor número. La Función de Utilidad de Dios traiciona sus orígenes en un barullo descoordinado de ganancia egoísta.

Los humanos tienen una tendencia bastante atractiva a asumir que el bienestar significa el bienestar del grupo, que «el bien» significa el bien de la sociedad, el bienestar futuro de las especies o incluso del ecosistema. La Función de Utilidad de Dios, como derivada de la contemplación de la maquinaria interna de la selección natural, resulta estar tristemente en desacuerdo con tales visiones utópicas. Por cierto, hay ocasiones en las que los genes podrían maximizar su bienestar egoísta en su nivel, programando cooperación altruista o incluso autosacrificio por parte del organismo en el suyo. Pero el bienestar del grupo siempre es una consecuencia fortuita, no un impulso primario. Este es el significado de «el gen egoísta».

Miremos otro aspecto de la Función de Utilidad de Dios, comenzando con una analogía. El psicólogo darwinista Nicholas Humphrey fabricó una anécdota esclarecedora sobre Henry Ford. «Se dice» que Ford, el santo patrón de la eficiencia en la fabricación, una vez...

Encargó un sondeo en los desguaces norteamericanos para averiguar si había partes del Modelo Ford T que nunca fallaban. Sus inspectores regresaron con informes sobre cada tipo de rotura: ejes, frenos, pistones... todos acababan fallando. Pero una notable excepción atraía su atención, los pivotes de dirección de los coches desahuciados invariablemente tenían todavía mucha vida por delante. Haciendo gala de una implacable lógica,

Ford llegó a la conclusión de que los pivotes de dirección del Modelo T eran demasiado buenos para su función y ordenó que en el futuro fueran contruidos siguiendo menores exigencias.

Podrías, como yo, no tener mucha idea de qué son los pivotes de dirección, pero no importa. Son algo que necesita el motor de un coche y la implacable actitud de Ford era, de hecho, completamente lógica. La alternativa hubiera sido mejorar el resto de las piezas del coche para elevarlas hasta la calidad de los pivotes de dirección. Pero entonces lo que habría fabricado ya no sería el Modelo T sino un Rolls Royce y ese no era el objetivo del ejercicio. Un Rolls Royce es un coche muy respetable en su fabricación y también lo es un Modelo T, pero a precios distintos. El truco es asegurarse de que todo el coche se construye según los requisitos o bien de un Rolls Royce o bien de un Modelo T. Si haces un coche híbrido, con algunos componentes de la calidad del Modelo T y algunos componentes de la calidad del Rolls Royce obtienes lo peor de ambos mundos, porque el coche será desechado cuando se desgaste el más débil de sus componentes, y el dinero gastado en componentes de alta calidad que nunca tienen tiempo para desgastarse será sencillamente despilfarrado.

La lección de Ford se aplica todavía con más fuerza a los cuerpos vivos que a los coches ya que los componentes de un coche pueden, dentro de unos límites, ser reemplazados por repuestos. Los monos y los gibones hacen su vida en las copas de los árboles y siempre corren el riesgo de caerse y romperse algunos huesos. Supongamos que encargáramos una investigación de los cadáveres de los monos para calcular la frecuencia de ruptura de cada hueso principal del cuerpo. Supongamos que resultara que cada hueso se rompe en una u otra ocasión, con una excepción: nunca se ha observado que ningún mono se rompa el peroné (el hueso que se sitúa paralelamente a la tibia). La firme recomendación de Henry Ford sería rediseñar este hueso siguiendo requisitos inferiores y esto es exactamente lo que haría también la selección natural. Los individuos mutantes con un peroné inferior —individuos cuyas reglas de crecimiento exijan desviar el precioso calcio fuera del peroné— podrían utilizar el material ahorrado para hacer más gruesos otros huesos del cuerpo y conseguir así el ideal de que todos ellos tengan la misma probabilidad de romperse. O podrían utilizar el calcio ahorrado para hacer más leche y así criar a más jóvenes. Se puede rebajar con seguridad el hueso del peroné, por lo menos hasta el punto en el que se convierte en tan fácilmente fracturable como el siguiente hueso más resistente. La alternativa —la solución «Rolls Royce» de elevar el resto de los componentes hasta la altura del peroné— es más difícil de lograr.

El cálculo no es exactamente tan sencillo como éste, ya que algunos huesos son más importantes que otros. Supongo que para un mono araña es más fácil sobrevivir con un tobillo fracturado que con hueso del brazo fracturado, luego no

deberíamos esperar literalmente que la selección natural dotara a todos los huesos de la misma probabilidad de romperse. Pero la lección principal que extraemos de la leyenda de Henry Ford es indudablemente correcta. Es posible que un componente de un animal sea demasiado bueno y deberíamos esperar que la selección natural favoreciera una disminución de su calidad hasta, pero no por debajo de, un punto de equilibrio con la calidad de los demás componentes del cuerpo. Para ser más precisos, la selección natural favorecerá una nivelación de la calidad en ambas direcciones, a mayor y a menor, hasta que se encuentre un equilibrio apropiado de todas las partes del cuerpo.

Es especialmente fácil apreciar este equilibrio cuando se establece entre dos aspectos bastante separados de la vida: por ejemplo, la supervivencia de los pavos reales macho frente a la belleza a los ojos de las hembras de su especie. La teoría darwiniana nos dice que toda supervivencia es sólo un medio para el fin de la propagación de los genes, pero esto no nos impide dividir el cuerpo en aquellos componentes, como las patas, que están involucradas directamente en la supervivencia individual y aquellas como el pene, que están involucradas en la reproducción. O aquellas como la cornamenta, que están dedicadas a la competición con individuos rivales frente a aquellas, como las patas y los penes, cuya importancia no depende de la existencia de individuos rivales. Muchos insectos imponen una separación rígida entre estadios radicalmente diferentes de su historia vital. Las orugas se dedican a conseguir alimento y a crecer. Las mariposas están, como las flores que visitan, dedicadas a la reproducción. No crecen, y sólo liban néctar para quemarlo inmediatamente como combustible aeronáutico. Cuando una mariposa se reproduce con éxito extiende los genes necesarios no sólo para ser una mariposa de vuelo y apareamiento eficientes sino también para ser la oruga de alimentación eficiente que fue. Las moscas de mayo se alimentan y crecen en forma de ninfas subacuáticas durante un periodo de hasta tres años. Después emergen como adultos voladores que mueren en cuestión de horas. Muchas de ellas son devoradas por los peces, pero incluso si no lo fueran, de todas formas morirían pronto, porque no se pueden alimentar y ni siquiera tienen vísceras (a Henry Ford le hubieran encantado). Su cometido es volar hasta que encuentren un compañero. Después, una vez que han transmitido sus genes —incluidos los necesarios para ser una ninfa eficiente capaz de alimentarse bajo el agua durante tres años— mueren. Una mosca de mayo es como un árbol que necesitara años para crecer, después floreciera durante un único y glorioso día y muriera. La mosca de mayo adulta es el capullo que florece brevemente al final de la vida y el comienzo de la nueva vida.

Un salmón joven emigra aguas abajo cuando nace y emplea el grueso de su vida alimentándose y creciendo en el mar. Cuando alcanza la madurez busca de nuevo, probablemente mediante el olfato, la desembocadura de su arroyo nativo. En un épico y muy célebre viaje, el salmón nada contra corriente saltando

cascadas y rápidos hasta su hogar, en la cabecera del río, del que surgió hace casi una vida entera. Allí desova y el ciclo se renueva. En este punto hay una diferencia típica entre el salmón del Pacífico y el del Atlántico. El salmón atlántico, una vez ha desovado, puede volver al mar con alguna posibilidad de repetir el ciclo por segunda vez. El salmón del Pacífico muere, agotado, pocos días después de desovar.

Un salmón del Pacífico típico es como una mosca de mayo pero sin la clara división anatómica entre las fases de adulto y ninfa en su historia vital. El esfuerzo de nadar contracorriente es tan grande que no puede merecer la pena hacerlo dos veces. De esta manera la selección natural favorece a los individuos que ponen cada gramo de sus recursos en un esfuerzo reproductivo « big bang ». Cualquier recurso que quede después de desovar será desperdiciado —el equivalente a los pivotes de dirección excesivamente bien diseñados de Henry Ford—. Los salmones del Pacífico han evolucionado hacia la reducción de su supervivencia postreproductiva hasta que se acerque a cero, desviando los recursos ahorrados hacia los óvulos o la lecha. Los salmones atlánticos fueron conducidos por la otra ruta. Quizá debido a que los ríos que tienen que remontar suelen ser más cortos y descienden por colinas menos formidables, los individuos que se reservan algunos recursos para un segundo ciclo reproductivo pueden a veces hacer bien en ello. El precio que pagan esos salmones atlánticos es que no pueden invertir tanto en su desove. Hay que sacrificar la longevidad por la reproducción o viceversa y diferentes tipos de salmón han optado por equilibrios diferentes. El rasgo especial del ciclo vital del salmón es que la extenuante odisea de su migración impone una discontinuidad. No hay un sencillo continuum entre una temporada de cría y dos. Comprometerse a una segunda temporada de cría se interpone drásticamente en el rendimiento de la primera. Los salmones del Pacífico han evolucionado hacia un inequívoco compromiso con la primera temporada de cría, con el resultado de que un individuo típico muere con toda seguridad inmediatamente después de su único y titánico esfuerzo de desove.

El mismo tipo de negociaciones marca la vida cotidiana, pero normalmente son menos dramáticas. Nuestra propia muerte probablemente está programada en un sentido parecido a la del salmón pero de una forma menos definida y directa. Sin duda, un partidario de la eugenesia podría criar una raza de humanos superlativamente longevos. Elegiría para criar a aquellos individuos que pongan la mayor parte de sus recursos en sus propios cuerpos a expensas de los de sus hijos: individuos, por ejemplo, cuyos huesos estén enormemente reforzados y sean difíciles de romper pero que les quede poco calcio para hacer leche. Es muy fácil vivir un poco más de tiempo si te miman a expensas de la siguiente generación. El aficionado a la eugenesia podría mimarlos y orientar los intercambios en la deseada dirección de la longevidad. La naturaleza no los mimará en este sentido, porque los genes para escatimar la siguiente generación

no se perpetuarán.

La Función de Utilidad de la naturaleza nunca valora la longevidad por sí misma sino sólo por el futuro de la reproducción. Cualquier animal que, como nosotros, pero a diferencia de los salmones del Pacífico, cría más de una vez se enfrenta a la negociación entre los hijos actuales (o camada) y los futuros. Una coneja que dedicara toda su energía y recursos a su primera camada probablemente tendría una primera camada superior, pero no le quedarían recursos sobrantes para seguir con una segunda camada. Los genes para mantener algo en reserva tenderán a extenderse en la población de conejos, transportados en los cuerpos de las crías de segunda y tercera camada. Son genes de este tipo los que de forma tan llamativa no se transmitieron a través de la población de los salmones del Pacífico, debido a que la discontinuidad práctica que existe entre una temporada de cría y dos es tan formidable.

A medida que nos hacemos mayores nuestra probabilidad de morir el año que viene, tras disminuir en un principio y estabilizarse durante una época, se mantiene en un ascenso prolongado. ¿Qué está sucediendo en este largo aumento de la mortalidad? Básicamente, es el mismo principio que para el salmón del Pacífico, pero repartido durante un periodo prolongado en vez de estar concentrado en una precipitada y breve orgía de muerte después de la orgía reproductiva. Los fundamentos de la evolución del envejecimiento fueron desarrollados originalmente a principios de los años cincuenta por sir Peter Medawar, científico médico y ganador del Premio Nobel, aportando los distinguidos darwinistas G. C. Williams y W. D. Hamilton algunas modificaciones a la idea básica.

El argumento esencial es el siguiente: Primero, como vimos en el capítulo 1, cualquier efecto genético normalmente será activado en un momento concreto durante la vida del organismo. Muchos genes son activados en el embrión temprano, pero otros —como el de la corea de Huntington, la enfermedad que mató al poeta y cantante folk Woody Guthrie— no se activan hasta la madurez. Segundo, los detalles de un efecto genético, incluyendo el momento en el que se activa, pueden ser modificados por otros genes. Un hombre que posea el gen de la corea puede prever que morirá de la enfermedad, pero otros genes podrían influir en si le mata cuando tiene cuarenta años o cuando tiene cincuenta y cinco (los que tenía Guthrie). La conclusión es que mediante la selección de genes «modificadores» el momento de acción de un gen en particular puede ser tanto pospuesto como adelantado en el tiempo evolutivo.

Un gen como el de la corea de Huntington, que se activa entre los treinta y cinco y los cincuenta y cinco años, tiene muchas oportunidades para ser transmitido a la siguiente generación antes de matar a su portador. Si por el contrario fuera activado a la edad de veinte años sólo sería transmitido por personas que se reprodujeran bastante jóvenes y de esta manera sufriría una

fuerte selección en contra. Si se activara a los diez años, esencialmente nunca llegaría a ser transmitido. La selección natural favorecería a cualesquiera genes modificadores que tuvieran el efecto de posponer la edad de activación del gen de la corea. De acuerdo con la teoría de Medawar/Williams, ésta sería exactamente la razón por la que normalmente no se activa hasta la madurez. Alguna vez pudo haber sido un gen de maduración temprana, pero la selección natural ha favorecido el retraso temporal de su efecto letal hasta la madurez. Sin duda existe todavía una ligera presión de selección para empujarlo hasta la tercera edad, pero esta presión es débil debido a que muy pocas víctimas mueren antes de reproducirse y transmitir el gen.

El gen de la corea de Huntington es un ejemplo particularmente claro de un gen letal. Hay muchos genes que no son en sí mismos letales pero tienen, sin embargo, efectos que aumentan la probabilidad de morir por alguna otra causa y son llamados subletales. Una vez más, su momento de activación puede estar influenciado por genes modificadores y, por tanto, puede ser pospuesto o anticipado mediante selección natural. Medawar se dio cuenta de que las debilidades de la senectud podrían representar una acumulación de efectos genéticos letales y subletales que habrían sido empujados hacia atrás en el ciclo vital y se les habría permitido colarse por la red reproductiva hasta las generaciones futuras simplemente porque actuaban tarde.

El giro que G. C. Williams, el decano de los darwinistas norteamericanos modernos, dio a la historia en 1957 es definitivo. Retrocedamos hasta nuestra idea sobre las negociaciones económicas. Para entenderlo necesitamos aportar un par de antecedentes adicionales. Normalmente, un gen tiene más de un efecto, con frecuencia en partes del cuerpo que son superficialmente bastante diferentes. Esta «pleiotropía» no sólo es un hecho, también es muy predecible puesto que los genes ejercen sus efectos sobre el desarrollo embrionario y el desarrollo embrionario es un proceso complicado. Así que es probable que cualquier nueva mutación no tenga un único efecto sino varios. Aunque uno de sus efectos pueda ser beneficioso, es poco probable que más de uno lo sea. Esto se debe simplemente a que la mayoría de los efectos de las mutaciones son negativos. Además de ser un hecho es previsible por principio: si empiezas con un mecanismo de funcionamiento complicado —digamos, una radio— hay muchas más formas de empeorarla que de mejorarla.

Siempre que la selección natural favorece a un gen debido a su efecto beneficioso en la juventud —pongamos, en el atractivo sexual de un macho joven— muy probablemente habrá un lado negativo: por ejemplo, alguna enfermedad en particular en la edad adulta o en la vejez. Teóricamente, los efectos de la edad podrían funcionar al contrario pero, siguiendo la lógica de Medawar, la selección natural difícilmente va a favorecer una enfermedad en la juventud por un efecto beneficioso de ese gen en la vejez. Es más, podemos

invocar de nuevo la idea de los genes modificadores. Cada uno de los diversos efectos de un gen, los buenos y los malos, podrían ver alterados sus momentos de activación en la evolución subsiguiente. De acuerdo con el principio de Medawar, los buenos efectos tenderían a ser adelantados a una fase más temprana en la vida, mientras que los malos tenderían a ser pospuestos hasta más tarde. Es más, en algunos casos habrá una negociación directa entre los efectos tempranos y los tardíos. Esto estaba implícito en nuestra discusión sobre el salmón. Si un animal tiene una cantidad finita de recursos que gastar, por ejemplo, en hacerse físicamente fuerte y capaz de sortear los peligros, cualquier predisposición a gastar esos recursos temprano será favorecida sobre una predisposición a gastarlos tarde. Los gastadores tardíos es más probable que ya hayan muerto por otras causas antes de tener una oportunidad para gastar sus recursos. Para poner la idea general de Medawar en una especie de versión de atrás-hacia-delante del lenguaje que introdujimos en el capítulo 1, todo el mundo ha descendido de una línea ininterrumpida de ancestros que fueron todos jóvenes en algún momento de su vida, pero muchos de los cuales nunca fueron viejos. Así que heredamos lo que se necesita para ser joven, pero no necesariamente lo que resulte que haga falta para ser viejo. Tendemos a heredar genes para morir mucho tiempo después de nacer, pero no para morir poco tiempo después de nacer.

Para volver al comienzo pesimista de este capítulo, cuando la función de utilidad —eso que está siendo maximizado— es la supervivencia del ADN, esto no constituye una receta para la felicidad. Siempre y cuando el ADN sea transmitido, no importa quién o qué sale herido en el proceso. Para los genes de la avispa icneumonídea de Darwin es mejor que la oruga permanezca viva y, por tanto, fresca cuando es devorada, no importa cuál sea el coste en sufrimiento. Los genes no tienen en cuenta el sufrimiento, porque no tienen en cuenta absolutamente nada.

Si la Naturaleza fuera amable, debería hacer por lo menos la insignificante concesión de anestesiar a las orugas antes de que sean devoradas vivas desde dentro. Pero la Naturaleza no es ni amable ni cruel. No está ni a favor ni en contra del sufrimiento. La naturaleza no está interesada de una forma u otra en el sufrimiento a menos que éste afecte a la supervivencia del ADN. Es fácil imaginar un gen que, por ejemplo, sedara a las gacelas cuando estuvieran a punto de sufrir un mordisco letal. ¿Sería un gen como éste favorecido por la selección natural? No, a menos que el hecho de sedar a una gacela mejorara las posibilidades de ese gen de ser transmitido a las generaciones futuras. Es difícil hacerse una idea de cómo podría hacerlo y por consiguiente podemos suponer que las gacelas sufren un dolor y un miedo espantosos cuando son perseguidas hasta la muerte —como les ocurre a casi todas ellas con el tiempo—. La cantidad total de sufrimiento por año en el mundo natural sobrepasa cualquier reflexión decente. Durante el minuto que me lleva componer esta frase, miles de animales

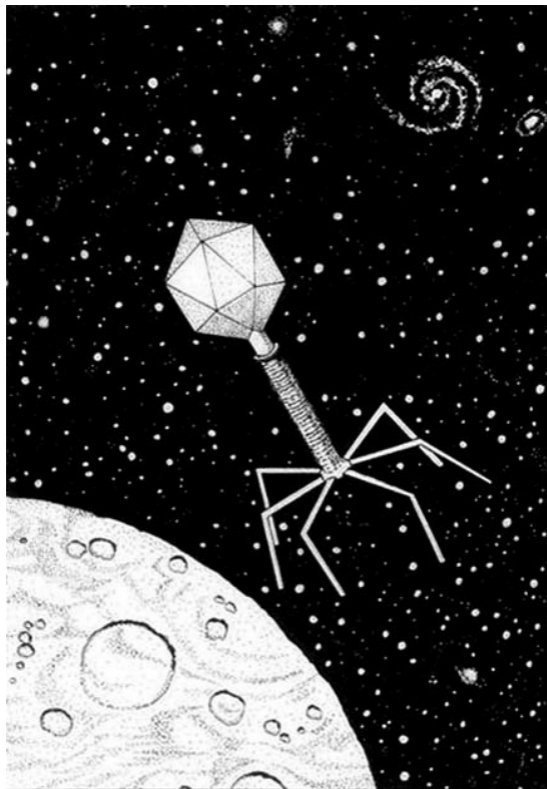
están siendo devorados vivos; otros están corriendo para salvar sus vidas, quejándose aterrorizados; otros están siendo devorados lentamente desde el interior por parásitos taladradores; miles de criaturas de todas clases están muriendo de hambre, sed y enfermedad. Así es como debe ser. Si alguna vez hay una época de abundancia, este mismo hecho conducirá automáticamente a un aumento en la población hasta que el estado natural de inanición y miseria sea restaurado.

Los teólogos se entretienen preocupándose por el «problema del mal» y el «problema del sufrimiento» relacionado con él. El día que escribí este párrafo, todos los periódicos británicos traían un terrible relato acerca de un autobús en el que viajaban niños de un colegio católico, que había chocado sin motivo aparente y sin dejar supervivientes. No por primera vez, los clérigos estallaron en indignación por la pregunta teológica que el redactor de un periódico londinense (el *Sunday Telegraph*) planteaba así: «¿Cómo se puede creer en un Dios amoroso y todopoderoso que permita una tragedia como ésta?». El artículo continuaba con la réplica de un cura: «La sencilla respuesta es que no sabemos por qué debería haber un Dios que permita que sucedan estas cosas tan horribles. Pero, para un cristiano, el horror del accidente confirma el hecho de que vivimos en un mundo de valores reales: positivos y negativos. Si el universo fuera únicamente electrones, no existiría el problema del mal o del sufrimiento».

Al contrario, si el universo estuviera constituido únicamente por electrones y genes egoístas, las tragedias sin sentido como el accidente de este autobús son exactamente el tipo de cosas que podríamos esperar, junto con la igualmente carente de sentido buena fortuna. Un universo así no tendría ni buenas ni malas intenciones. No manifestaría intención de ninguna clase. En un universo de fuerzas físicas ciegas y de replicación genética alguna gente va a resultar herida, otra será afortunada y no encontraremos ninguna moraleja o razón en ello, tampoco ninguna justicia. El universo que observamos tiene exactamente las propiedades que podríamos esperar si, en el fondo, no hubiera ningún diseño, ninguna intención, ningún bien ni ningún mal, nada más que indiferencia ciega y despiadada. Como decía el infeliz poeta A. E. Housman:

Pues la Naturaleza, la insensible e inconsciente Naturaleza,
ni sabrá, ni se preocupará^[18].

El ADN ni sabe ni se preocupa. El ADN sólo es. Y bailamos al ritmo de su música.



5. La bomba de replicación

La mayoría de las estrellas —y nuestro sol es típico en ello— se queman de forma estable durante miles de millones de años. Muy raramente, en alguna parte de la galaxia una estrella explota súbitamente, sin previo aviso, convirtiéndose en una supernova. En el plazo de unas pocas semanas su brillo aumenta en un factor de muchos miles de millones y después desaparece dejando un oscuro remanente de su antiguo yo. Durante estos pocos días como supernova, una estrella puede irradiar más energía que en sus cien millones de años anteriores como estrella ordinaria. Si nuestro propio sol «se volviera supernova» el sistema solar al completo sería vaporizado en ese instante. Afortunadamente, esto es muy poco probable. En nuestra galaxia de cien mil millones de estrellas sólo han sido registradas tres supernovas por los astrónomos: en 1054, en 1572 y en 1604. La Nebulosa del Cangrejo son los restos del acontecimiento de 1054, registrado por astrónomos chinos. (Cuando me refiero al acontecimiento «de 1054» quiero decir, por supuesto, el acontecimiento cuyas noticias alcanzaron la Tierra en el 1054. El suceso propiamente dicho tuvo lugar seis mil años antes. El frente de onda lumínica que éste originó llegó aquí en el 1054). Desde 1604, las únicas supernovas que se han observado pertenecían a otras galaxias.

Hay otro tipo de explosión que una estrella puede experimentar. En vez de «volverse supernova» se «vuelve información». La explosión comienza más lentamente que la de una supernova y requiere incomparablemente más tiempo para formarse. Podemos llamarlo una bomba de información o, por razones que se harán evidentes, una bomba de replicación. Durante el primer millar de millones de años de su formación sólo podrías detectar una bomba de replicación si estuvieras en su inmediata cercanía. Con el tiempo, sutiles manifestaciones de la explosión comienzan a filtrarse hasta regiones del espacio más lejanas y ésta se vuelve detectable, por lo menos potencialmente, desde muy lejos. No sabemos cómo acaba este tipo de explosión. Presumiblemente, con el tiempo se desvanece como una supernova, pero no sabemos hasta dónde llegan los pasos previos de formación. Quizá termine en una violenta y autodestructiva catástrofe. Quizá en una más suave y repetida emisión de objetos que se mueven en una

trayectoria balística más bien guiada que sencilla hacia el exterior de la estrella, hasta parajes lejanos del espacio donde puede infectar a otros sistemas de estrellas con la misma tendencia a explotar.

La razón por la que sabemos tan poco de las bombas de replicación en el universo es que sólo hemos visto un ejemplo y un solo ejemplo de cualquier fenómeno no es suficiente para hacer generalizaciones. La historia de nuestro único caso continúa en marcha. Ha seguido su camino durante aproximadamente tres o cuatro mil millones de años y sólo ha alcanzado el umbral de propagación desde la inmediata cercanía de la estrella. La estrella de la que estamos hablando es Sol, una enana amarilla situada cerca del borde de nuestra galaxia, en uno de sus brazos espirales. Nuestro sol. La explosión realmente tuvo su origen en uno de los satélites en órbita cercana a su alrededor, pero la energía que alimenta la explosión parte toda del sol. El satélite es, por supuesto, la Tierra y la explosión de cuatro mil millones de años, o bomba de replicación, se conoce como vida. Los humanos somos una manifestación extremadamente importante de la bomba de replicación, puesto que a través de nosotros —a través de nuestros cerebros, nuestra cultura simbólica y nuestra tecnología— la explosión puede proceder hasta el siguiente estadio y reverberar por el espacio profundo.

Como he dicho, nuestra bomba de replicación es, hasta la fecha, la única que conocemos en el universo, pero esto no significa necesariamente que acontecimientos de este tipo sean más raros que las supernovas. Hay que reconocer que en nuestra galaxia las supernovas han sido detectadas con tres veces más frecuencia, pero ellas son mucho más fáciles de observar desde muy lejos debido a las inmensas cantidades de energía que liberan. Hasta hace escasas décadas, cuando las ondas de radio de factura humana comenzaron a irradiar hacia el exterior de nuestro planeta, nuestra explosión de vida habría pasado desapercibida a observadores que estuvieran situados incluso en planetas bastante cercanos. Probablemente, hasta épocas recientes la única manifestación llamativa de nuestra explosión de vida habría sido la Gran Barrera de Arrecifes.

Una supernova es una explosión gigantesca y repentina. El acontecimiento desencadenante de cualquier explosión es que algo reacciona hasta una situación crítica, tras lo cual se produce una escalada incontrolada que produce un resultado mucho más grande que el acontecimiento desencadenante original. El acontecimiento desencadenante de una bomba de replicación es la aparición espontánea de entidades auto-replicativas aunque variables. La razón por la que la auto-replicación es un fenómeno potencialmente explosivo es la misma que la de cualquier explosión: el crecimiento exponencial —cuanto más tienes más obtienes—. Una vez que tienes un objeto auto-replicativo, pronto tendrás dos. Después cada uno de ellos hará una copia de sí mismo y entonces tendrás cuatro. Después ocho, luego dieciséis, treinta y dos, sesenta y cuatro, etc. Después de unas meras treinta generaciones de duplicación, tendrás más de mil millones de

objetos que se duplican. Después de cincuenta generaciones habrá mil millones de millones de ellos. Después de doscientas generaciones habrá un millón de millones de millones de millones de millones de millones de millones de millones. Esto es en teoría. En la práctica nunca llegará a suceder, puesto que esta cifra supera el número de átomos que hay en todo el universo. El proceso explosivo de autocopiado tiene que ser limitado mucho antes de que alcance las doscientas generaciones de copia sin restricción.

No tenemos evidencia directa del acontecimiento de replicación que inició los procedimientos en este planeta, sólo podemos inferir que tiene que haber sucedido debido a la explosión creciente de la cual nosotros formamos parte. No conocemos exactamente cómo fue el acontecimiento crítico original y cómo se inició la autorreplicación, pero podemos inferir qué tipo de suceso debió haber sido. Empezó como un acontecimiento químico.

La química es como una representación dramática que transcurre en todas las estrellas y en todos los planetas. Los actores en la química son los átomos y las moléculas. Incluso el más escaso de los átomos es extremadamente numeroso según los estándares de cálculo a los que estamos acostumbrados. Isaac Asimov calculó que el número de átomos del elemento raro astato-215 en toda América del Norte y del Sur, hasta una profundidad de diez mil kilómetros, es « sólo un billón ». Las unidades fundamentales de la química son compañeros eternamente cambiantes que producen una variada pero siempre muy abundante población de unidades más grandes: las moléculas. Independientemente de lo numerosas que sean, las moléculas de una clase determinada —a diferencia de, pongamos los animales de una especie concreta o los violines Stradivarius— son siempre idénticas. Las rutinas atómicas de la química conducen a que algunas moléculas se hagan más abundantes en el mundo mientras que otras se hacen más escasas. Un biólogo siente la tentación natural de describir a las moléculas que se hacen más numerosas en la población como « prósperas o con éxito ». Pero no es útil sucumbir a esta tentación. El éxito, en el ilustrativo sentido del término, es una propiedad que surge sólo en una etapa posterior de nuestra historia.

Entonces ¿qué fue este trascendental y crítico acontecimiento que inició la explosión de la vida? He dicho que fue la aparición de las entidades auto-duplicativas, pero de forma equivalente podríamos llamarlo el origen del fenómeno de la herencia —un proceso que podemos etiquetar como « lo que se parece engendra parecido »—. Esto no es algo que las moléculas exhiban normalmente. Las moléculas de agua, aunque abundan en proporciones gigantescas, no muestran nada parecido a la verdadera herencia. Aparentemente, podríamos pensar que lo hacen. La población de moléculas de agua (H_2O) aumenta cuando el hidrógeno (H) entra en combustión con el oxígeno (O). La población de las moléculas de agua desciende cuando el agua se

separa, mediante electrólisis, en burbujas de hidrógeno y oxígeno. Pero, aunque hay una especie de dinámica de población en las moléculas de agua, no hay herencia. La condición mínima para la verdadera herencia sería la existencia de al menos dos clases distintas de moléculas de H_2O y que ambas dieran lugar a copias (« descendencia ») de su propia clase.

A veces las moléculas vienen en dos variedades especulares. Hay dos tipos de molécula de glucosa, que contienen átomos idénticos ensamblados unos con los otros de la misma forma, a excepción de que las moléculas que forman son imágenes especulares. Lo mismo se cumple en otras moléculas de azúcar y en montones de otras moléculas más, incluyendo los sumamente importantes aminoácidos. Aquí hay quizá una oportunidad de « lo que se parece engendra parecido » para la herencia química. ¿Podrían las moléculas diestras engendrar moléculas hijas diestras y las zurdas engendrar moléculas hijas zurdas? Primero aportemos cierta información básica acerca de las moléculas especulares. El fenómeno fue descubierto por primera vez por el gran científico francés del siglo XIX Louis Pasteur mientras observaba cristales de tartrato, una sal del ácido tartárico y una sustancia importante para el vino. Un cristal es un edificio sólido, lo suficientemente grande como para que se pueda ver a simple vista y en algunos casos para que se pueda llevar alrededor del cuello. Se forma cuando átomos o moléculas, todos de la misma clase, se apilan unos sobre otros para constituir un sólido. No se apilan desordenadamente sino en una disposición geométrica ordenada, como un cuerpo de guardia de idéntico tamaño e imaculada disciplina. Las moléculas que ya forman parte del cristal sirven como plantilla para la adición de nuevas moléculas, que parten de una disolución acuosa y encajan en él exactamente, de forma que el cristal completo crece como una precisa retícula geométrica. Esta es la razón de que los cristales de sal tengan caras cuadradas y de que los cristales de diamante sean tetraédricos (con forma de diamante). Cuando cualquier forma actúa como plantilla para construir otra forma como la suya propia tenemos un indicio de la posibilidad de auto-replicación.

Ahora volvamos a los cristales de tartrato de Pasteur. Él se dio cuenta de que cuando dejaba una solución de tartrato en agua surgían dos clases diferentes de cristal, idénticos entre sí excepto porque eran imágenes especulares el uno del otro. Pasteur clasificó laboriosamente los dos tipos de cristal y los puso en dos montones separados. Cuando los redisolvió separadamente obtenía dos soluciones diferentes, dos clases de tartrato en disolución. Aunque las dos soluciones eran similares en la mayoría de los aspectos, Pasteur descubrió que rotaban la luz polarizada en direcciones opuestas. Esto es lo que les da a las dos clases de moléculas sus nombres convencionales de dextrógiras y levógiras, puesto que rotan la luz polarizada a favor y en contra de las agujas del reloj respectivamente. Como podréis adivinar, cuando se les permitió a las dos

soluciones cristalizar otra vez, cada una produjo cristales puros que constituían el uno la imagen especular del otro.

Las moléculas especulares son verdaderamente distintas en que, como los zapatos izquierdos y los derechos, no importa el esfuerzo que hagas, no los puedes rotar de manera que puedas utilizar el uno como sustituto del otro. La disolución inicial de Pasteur era una población mixta de dos clases de moléculas y las dos insistían en aliarse con las de su propia clase cuando cristalizaban. La existencia de dos (o más) variedades distintas de una entidad es una condición necesaria para que haya verdadera herencia, pero no es condición suficiente. Para que haya verdadera herencia entre los cristales, los cristales dextrógiros y los levógiros tendrían que partirse por la mitad cuando alcanzaran un tamaño crítico y cada mitad debería servir como plantilla para que el cristal creciera de nuevo hasta su tamaño completo. En estas condiciones tendríamos verdaderamente una población en aumento de dos clases rivales de cristales. Podríamos hablar verdaderamente de «éxito» en la población, debido a que —puesto que ambas clases compiten por los mismos átomos constituyentes— una podría llegar a ser más numerosa a expensas de la otra, en virtud de su «eficacia» a la hora de hacer copias de sí misma. Desafortunadamente, la gran mayoría de las moléculas que conocemos no tienen esta singular propiedad de la herencia.

Digo «desafortunadamente» porque los químicos, que intentan hacer moléculas para propósitos médicos que sean todas, pongamos levóginas, desearían ardientemente poder «criarlas». Pero en la medida en que las moléculas actúan como plantillas para la formación de otras moléculas, normalmente lo hacen para sus imágenes especulares no para la forma de su misma tendencia. Esto complica las cosas, porque si empiezas con una forma dextrógira terminas con una mezcla igualitaria de moléculas dextróginas y levóginas. Los químicos que trabajan en este campo están tratando de engañar a las moléculas para que «crien» moléculas hijas de la misma tendencia. Es un truco muy difícil de conseguir.

De hecho, aunque probablemente no tenía que ver con la dirección de rotación de la luz, hace cuatro mil millones de años se consiguió natural y espontáneamente una versión de este truco; cuando el mundo era nuevo y comenzó la explosión que se convertiría en vida y en información. Pero era necesario algo más que simple herencia antes de que la explosión pudiera ponerse en marcha adecuadamente. Incluso aunque una molécula muestre verdadera herencia entre sus formas dextróginas y levóginas, cualquier competición entre ellas no tendría consecuencias demasiado interesantes puesto que sólo hay dos clases. Una vez que, pongamos las levóginas, hubieran ganado la competición, este sería el final del asunto. No habría más progreso.

Las moléculas más grandes pueden exhibir esta tendencia a la rotación de la luz en diferentes partes de la molécula. El antibiótico monensina, por ejemplo,

tiene diecisiete centros de asimetría. Para cada uno de estos diecisiete centros hay una forma dextrógira y otra levógira. Dos multiplicado por sí mismo diecisiete veces es 131 072 y, por tanto, hay 131 072 formas distintas de esta molécula. Si las 131 072 poseyeran la propiedad de la verdadera herencia, engendrando cada una de ellas sólo moléculas de su misma clase, aparecería una competición bastante complicada a medida que los miembros con más éxito del conjunto de los 131 072 se impusieran gradualmente en los sucesivos censos de población. Pero incluso así sería un tipo de herencia limitada porque 131 072, aunque es un número grande, es finito. Para una explosión de vida que merezca esa denominación se necesita la herencia, pero también una variedad indefinida e ilimitada.

Con la monensina hemos llegado al final del camino en lo que se refiere a la herencia de imagen especular. Pero dextrógiros contra levógiros no es el único tipo de diferencia que podría prestarse al proceso de copia hereditaria. Julius Rebek y sus colegas del Instituto de Tecnología de Massachusetts son químicos que se han tomado en serio el reto de producir moléculas auto-replicativas. Las variantes que ellos aprovechan no son imágenes especulares. Rebek y sus colegas tomaron dos moléculas pequeñas —los nombres exactos no importan, llamémoslas simplemente A y B—. Cuando A y B son mezcladas en una solución, se juntan en un tercer compuesto llamado —lo has adivinado— C. Cada molécula de C actúa como una plantilla o molde. Las A y B, que flotan libremente en la solución, terminan encajando en el molde. Allí, una A y una B son forzadas a una posición determinada y de esta manera se encuentran correctamente alineadas para hacer una nueva C exactamente igual a la anterior. Las C no se pegan entre sí para formar un cristal sino que se repelen. Ahora ambas C están disponibles como plantillas para hacer nuevas C, así que la población de C crece exponencialmente.

Tal y como hemos descrito hasta ahora, el sistema no exhibe verdadera herencia, pero señala en esa dirección. La molécula B se presenta en una variedad de formas, cada una de las cuales se combina con A para hacer su propia versión de la molécula C. Así que tenemos C1, C2, C3, y así sucesivamente. Cada una de estas versiones de la molécula C sirve como plantilla para la formación de otras C de su propia clase; por tanto, la población de C es heterogénea. Es más, los diferentes tipos de C no muestran todos la misma eficacia a la hora de formar hijas. Así que en la población de las moléculas C existe competición entre las versiones rivales. Mejor todavía, se pueden inducir « mutaciones espontáneas » de la molécula C mediante radiación ultravioleta. La nueva clase mutante demostró ser « fiel a la cría », produciendo moléculas hijas exactamente iguales a sí misma. La nueva variante superó satisfactoriamente a la clase parental en la competición, dominando rápidamente el mundo contenido en el tubo de ensayo donde estas protocriaturas habían recibido su ser. El

complejo A/B/C no es el único conjunto de moléculas que se comporta así. Hay D, E y F, para denominar a un trío comparable. El grupo de Rebek incluso ha sido capaz de hacer híbridos auto-replicativos de elementos del complejo A/B/C y del complejo D/E/F.

Las moléculas verdaderamente autocopiativas que conocemos en la naturaleza, los ácidos nucleicos ADN y ARN, tienen un potencial para la variación muchísimo más rico. Mientras que un replicador de Rebek es una cadena con sólo dos eslabones, una molécula de ADN es una larga cadena de longitud indefinida. Cada uno de sus centenares de eslabones puede ser únicamente de cuatro tipos; y cuando un fragmento concreto de ADN actúa como plantilla para la formación de una nueva molécula de ADN, cada uno de los cuatro tipos actúa como plantilla para uno de los otros cuatro en particular. Las cuatro unidades, conocidas como bases nitrogenadas, son los compuestos adenina, timina, citosina y guanina, a las que convencionalmente nos referimos como A, T, C y G. A siempre actúa como plantilla para T y viceversa. C siempre actúa como plantilla para G y viceversa. Cualquier ordenamiento concebible de A, T, C y G es posible y será fielmente duplicado. Es más, puesto que las cadenas de ADN son de longitud indefinida, el abanico de variación disponible es de hecho infinito. Esta es una receta potencial para una explosión de información cuyos ecos pueden con el tiempo alcanzar el exterior del planeta de origen y tocar las estrellas.

Los ecos de la explosión replicativa de nuestro sistema solar han estado confinados en el planeta origen durante la mayor parte de los cuatro mil millones de años desde que sucedió. Ha sido sólo en el último millón de años cuando ha aparecido un sistema nervioso capaz de inventar una tecnología de la radio. Y ha sido sólo en las últimas décadas cuando ese sistema nervioso la ha desarrollado realmente. Ahora, hay un frente en expansión de ondas de radio ricas en información avanzando hacia el exterior del planeta a la velocidad de la luz.

Digo «ricas en información» porque ya había muchas ondas de radio rebotando por el cosmos. Las estrellas emiten en frecuencias de radio además de en las frecuencias que nosotros conocemos como luz visible. Hay incluso un poco de ruido de fondo remanente del Big Bang original que bautizó al tiempo y al universo. Pero no está estructurado con significado alguno: no es rico en información. Un radioastrónomo que estuviera situado en un planeta de la órbita de Próxima Centauri detectaría el mismo ruido de fondo que nuestros radioastrónomos pero también se daría cuenta de una estructura globalmente más compleja de ondas de radio que emanan en la dirección de la estrella Sol. Esta estructura no sería reconocida como una mezcla de programas de televisión de hace cuatro años, pero sería reconocida por ser en su globalidad más rica en información y más estructurada que el ruido de fondo habitual. Los radioastrónomos centaurianos informarían, entre aspavientos de excitación, que

la estrella Sol había explotado en el equivalente informacional de una supernova (supondrían, pero podrían no estar seguros, de que había sido en realidad en un planeta en la órbita de Sol).

Las bombas de replicación, como hemos visto, siguen un curso más lento que las supernovas. A nuestra propia bomba de replicación le ha llevado unos pocos miles de millones de años alcanzar el umbral de la radio —el momento en el que una parte de la información rebasa el mundo progenitor y comienza a bañar las estrellas vecinas con pulsos con significado—. Podemos suponer que las explosiones de información, si la nuestra es típica en ello, pasan por una serie gradual de umbrales. El umbral de la radio y, antes de él, el umbral del lenguaje aparecen bastante tarde en la trayectoria de una bomba de replicación. Antes de ellos hubo lo que —en este planeta por lo menos— se puede denominar el umbral de las células nerviosas, y antes todavía hubo el umbral de la multicelularidad. El umbral número uno, el abuelo de todos ellos, fue el umbral de la replicación, el elemento desencadenante que hizo posible la explosión al completo.

¿Qué hay en los replicadores que sea tan importante? ¿Cómo puede ser que las posibilidades de aparición de una molécula con la propiedad aparentemente inocua de servir como molde para la síntesis de otra exactamente igual a ella sea el desencadenante de una explosión cuyos ecos finales puedan repercutir más allá de los planetas? Como hemos visto, parte del poder de los replicadores radica en el crecimiento exponencial. Los replicadores exhiben crecimiento exponencial de una forma particularmente clara. Un sencillo ejemplo es la llamada carta cadena. Recibes por correo una postal en la que dice: «Haz seis copias de esta tarjeta y mándalas a seis amigos en el plazo de una semana. Si no lo haces, una maldición caerá sobre ti y morirás en menos de un mes en medio de una horrible agonía». Si eres sensato, la tirarás a la basura. Pero un buen porcentaje de la gente no es sensata; están ligeramente intrigados o intimidados por la amenaza y mandan seis copias a otras personas. De esas seis, quizá dos convencerán a su receptor para que las mande a otras seis personas. Si, como media, un tercio de la gente que recibe la carta obedece las instrucciones escritas en ella, el número de cartas en circulación se duplicará cada semana. En teoría, esto significa que después de un año el número de cartas en circulación será dos a la potencia de 52, o alrededor de cuatro mil billones. Suficientes cartas como para enterrar a todos los hombres, mujeres y niños del mundo.

Si no es frenado por la carencia de recursos, el crecimiento exponencial siempre conduce a resultados iniciales de gran escala en un tiempo sorprendentemente corto. En la práctica, los recursos son limitados y existen también otros factores que sirven para limitar el crecimiento exponencial. En nuestro hipotético ejemplo, los individuos probablemente empezarán a mostrarse reacios cuando reciban la misma carta cadena por segunda vez. En la competición por los recursos podrían aparecer variantes del replicador que

casualmente fueran más eficientes en conseguir duplicarse a sí mismos. Estos replicadores tenderían a reemplazar a sus rivales menos eficientes. Es importante comprender que ninguna de estas entidades replicativas está conscientemente interesada en conseguir duplicarse a sí misma. Pero simplemente sucederá que el mundo acaba lleno de replicadores más eficientes.

En el caso de la carta cadena, ser eficiente podría consistir en recopilar una mejor colección de palabras. En vez de la afirmación, en cierto modo implausible, de que « si no obedeces las palabras de la tarjeta morirás en el plazo de un mes tras una horrible agonía », el mensaje podría cambiar a « Por favor, te lo ruego, para salvar tu alma y la mía, no te arriesgues; si albergas la más mínima duda, obedece las instrucciones y manda la carta a seis personas más ». Tales « mutaciones » pueden ocurrir una y otra vez y el resultado final será una población heterogénea de mensajes todos en circulación, todos descendientes del mismo ancestro original pero que difieren en los pormenores de la redacción y en la fuerza y naturaleza de los incentivos que emplean. Las variantes que tengan más éxito aumentarán en frecuencia a expensas de rivales con menos éxito. El éxito es sencillamente sinónimo de frecuencia en circulación. La « carta de san Judas » es un famoso ejemplo de ese éxito. Ha dado la vuelta al mundo un gran número de veces, creciendo probablemente en el proceso. Mientras estaba escribiendo este libro, el doctor Oliver Goodenough, de la Universidad de Vermont, me envió la siguiente versión de la carta y escribimos un ensayo conjunto sobre ella como « virus de la mente » para la revista *Nature*:

« CON AMOR TODO ES POSIBLE »

Esta carta te ha sido enviada para que tengas suerte. El original partió de Nueva Inglaterra y ha dado la vuelta al mundo nueve veces. La Suerte te ha sido enviada. Recibirás buena suerte en un plazo de cuatro días después de recibir esta carta, dependiendo a cambio de que tú a su vez la envíes. No es una broma. Te llegará buena suerte por correo. No mandes dinero. Manda copias a personas que pienses que necesitan buena suerte. No envíes dinero porque la fe no tiene precio. No te quedes con esta carta; debe abandonar tus manos en 96 horas. Joe Elliot, un oficial de la ARP, recibió cuarenta mil dólares. Geo Welch perdió a su mujer cinco días después de recibir esta carta. No la puso en circulación. Sin embargo, antes de la muerte de su mujer recibió setenta y cinco mil dólares. Por favor, manda copias y mira a ver qué sucede después de cuatro días. La cadena llega de Venezuela y fue escrita por Saúl Anthony Degnas, un misionero de Sudamérica. Puesto que esta copia debe recorrer el mundo, debes hacer 20 copias y mandarlas a amigos y conocidos; después de unos cuantos días te llevarás una sorpresa. Esto es amor aunque no seas supersticioso. Ten en cuenta lo siguiente: Cantonare Dias

recibió esta carta en 1903. Pidió a su secretaria que hiciera copias y las enviara. Pocos días después ganó 20 millones de dólares en la lotería. Carl Dobbitt, un oficinista, recibió la carta y olvidó que tenía que abandonar sus manos en 96 horas: perdió su empleo. Después de encontrar de nuevo la carta hizo las 20 copias y las envió todas; pocos días después encontró un empleo mejor. Dolan Fairchild recibió la carta y, no creyéndola, la tiró. Nueve días más tarde murió. En 1987 llegó a manos de una mujer joven en California. Estaba borrosa y difícilmente legible. Se prometió a sí misma reescribirla a máquina y mandarla, pero lo dejó para más tarde. Se vio inundada con diversos problemas, incluyendo reparaciones muy caras de su automóvil. Esta carta no abandonó sus manos en 96 h. Finalmente, pasó la carta a máquina como había prometido y consiguió un coche nuevo. Recuerda, no envíes dinero. No ignores esto, funciona.

San Judas

Este ridículo documento muestra todos los indicios de haber evolucionado a través de un número de mutaciones. Hay numerosos errores y expresiones desafortunadas y se sabe que circulan otras versiones por ahí. Desde que nuestro artículo fue publicado en el *Nature*, he recibido de todas partes del mundo varias versiones significativamente distintas. Por ejemplo, en uno de esos textos alternativos el « oficial de las ARP » es un « oficial de la RAF^[19] ». La carta de san Judas es bien conocida en el Servicio de Correos de Estados Unidos, que declara que ésta se remonta a antes de que empezaran sus archivos oficiales y que exhibe brotes epidémicos recurrentes.

Observa que el catálogo de pretendida buena suerte que disfrutaban los que obedecían y de desastres que les ocurrieron a los que se negaron no pudo ser introducido por los propios beneficiarios/víctimas. La pretendida buena suerte de los beneficiarios no les llegó hasta después de que la carta hubiera abandonado sus manos y las víctimas no mandaron la carta. Presumiblemente, estas historias sencillamente fueron inventadas —como uno podría suponer por sí mismo debido a la implausibilidad de su contenido—. Esto nos lleva al principal aspecto en el que las cartas cadena difieren de los replicadores naturales que iniciaron la explosión de vida. Las cartas cadena son lanzadas por humanos y los cambios en su redacción surgieron en la cabeza de éstos. En el origen de la explosión de vida no había mentes, ni creatividad, ni tampoco intención. Sólo había química. Sin embargo, una vez que los compuestos químicos auto-replicativos tuvieron la oportunidad de surgir habría habido una tendencia automática a que las variantes con más éxito fueran cada vez más frecuentes a expensas de las variantes con menos éxito.

Como en el caso de las cartas cadena, el éxito entre los replicadores químicos

es simplemente sinónimo de frecuencia en circulación. Pero esto es sólo una definición: casi una tautología. El éxito se obtiene mediante competencia práctica y competencia significa algo concreto y es cualquier cosa menos tautológico. Una molécula replicadora con éxito será aquella que, por razones de técnica química concreta, tiene lo que hace falta para conseguir replicarse. En la práctica, el significado de esto puede ser algo casi infinitamente variable, incluso aunque la naturaleza concreta de los replicadores pueda parecer sorprendentemente uniforme.

El ADN es tan uniforme que consiste enteramente en variaciones en la secuencia de las mismas cuatro «letras». —A, T, C y G—. En contraste, como hemos visto en capítulos anteriores, los medios utilizados por las secuencias de ADN para conseguir replicarse son increíblemente diversos. Incluyen la construcción de mejores corazones para los hipopótamos, patas más ágiles para las pulgas, alas con un diseño aerodinámico más funcional para los vencejos, vejigas natatorias con más capacidad de flotación para los peces... Todos los órganos y miembros de los animales; las raíces, hojas y flores de las plantas; todos los ojos y cerebros y mentes, e incluso los miedos y las esperanzas, son las herramientas mediante las que las secuencias con éxito del ADN se abren paso hacia el futuro. Las propias herramientas son casi infinitamente variables, pero las recetas para construir esas herramientas son, en comparación, ridículamente uniformes. Tan sólo permutación tras permutación de A, T, C y G.

Podría no haber sido siempre así. No tenemos evidencias de que cuando se iniciara la explosión de información el código simiente estuviese escrito en letras de ADN. De hecho, toda la tecnología de información basada en ADN/proteína es tan sofisticada —ha sido llamada alta tecnología por el químico Graham Caims-Smith— que difícilmente puedes imaginar que apareciera por suerte, sin algún otro sistema auto-replicativo como precursor. El precursor podría haber sido el ARN; o algo parecido a las sencillas moléculas auto-replicativas de Reбек, o podría haber sido algo muy diferente: una posibilidad seductora, que he discutido en detalle en *El relojero ciego (El relojero ciego)*, es la sugerencia del propio Caims-Smith de cristales inorgánicos de arcilla como replicadores primordiales (véanse sus *Siete pistas sobre el origen de la vida [Seven Clues to the Origin of Life]*). Es posible que jamás lleguemos a saberlo con seguridad.

Lo que sí podemos es conjeturar la cronología general de una explosión de vida sobre cualquier planeta, en cualquier parte del universo. Los detalles de lo que funcionará deben depender de las condiciones locales. El sistema de ADN/proteína no funcionaría en un mundo de amoníaco líquido congelado, pero quizá algún otro sistema de herencia y embriología sí lo haría. En cualquier caso, ese es justo el tipo de detalles específicos que yo quiero ignorar, porque quiero concentrarme en los fundamentos de la receta general, independientes del planeta. Ahora recorreré más sistemáticamente la lista de umbrales por los que

es previsible que pase cualquier bomba de replicación planetaria. Algunos de ellos es probable que sean genuinamente universales. Otros podrían ser una peculiaridad de nuestro propio planeta. Es posible que no siempre sea fácil decidir cuáles es probable que sean universales y cuáles locales, y esta cuestión es interesante por derecho propio.

El umbral número uno es, por supuesto, el Umbral Replicativo mismo: la aparición de alguna clase de sistema auto-copiativo en el que haya por lo menos una forma rudimentaria de variación hereditaria, con ocasionales errores aleatorios en el proceso de copiado. La consecuencia de la superación del primer umbral es que el planeta pasa a contener una población mixta, en la que las variantes compiten por los recursos. Los recursos serán escasos, o se harán escasos a medida que la competencia se vaya calentando. En la competencia por los escasos recursos, algunas réplicas variantes resultarán tener éxito comparativamente. Otras tendrán comparativamente poco. De modo que ahora tenemos una forma básica de selección natural.

Para empezar, el éxito entre replicadores rivales será juzgado teniendo en cuenta exclusivamente las propiedades directas de los propios replicadores —por ejemplo, por lo bien que su forma encaje con una plantilla—. Pero ahora, después de muchas generaciones de evolución, nos trasladamos al umbral número dos, el Umbral del Fenotipo. Los replicadores no sobreviven en virtud de sus propios atributos sino en virtud de efectos causales sobre otra cosa, que llamamos el fenotipo. En nuestro planeta, los fenotipos son fácilmente reconocibles como aquellas partes de los cuerpos de los animales y de las plantas en las que los genes pueden influir. Esto describe bastante bien a todas y cada una de las porciones de los cuerpos. Piensa en los fenotipos como palancas de poder mediante las que los replicadores con éxito manipularán su camino hasta la siguiente generación. De forma más general, los fenotipos se podrían definir como las consecuencias de los replicadores que influyen en el éxito de los replicadores pero que ellas mismas no son replicadas. Por ejemplo, un gen particular en una especie de caracol de las islas del Pacífico determina si la espiral de la concha gira hacia la derecha o hacia la izquierda. La molécula de ADN misma no es dextrógira ni levógira, pero su consecuencia fenotípica lo es. Puede que las conchas dextrógiras y las levógiras no tengan el mismo éxito a la hora de proporcionar protección externa a los cuerpos de los caracoles. Como los genes del caracol viajan dentro de las conchas cuya forma ayudan a determinar, los genes que produzcan conchas con éxito llegarán a superar en mucho a los genes que producen conchas con poco éxito. Las conchas, puesto que son fenotipos, no dan lugar a conchas hijas. Cada concha es producida por el ADN, y es el ADN el que da lugar a ADN.

Las secuencias del ADN influyen en sus fenotipos (como la dirección de la espiral de las conchas) mediante una más o menos complicada cadena de

acontecimientos intermedios, subsumidos todos ellos bajo el encabezamiento general de « embriología ». En nuestro planeta, el primer eslabón de la cadena es siempre la síntesis de una molécula de proteína. Cada detalle de la molécula de proteína está especificado con precisión, por medio del famoso código genético, por el ordenamiento de cuatro tipos de letras en el ADN. Pero muy probablemente estos detalles son únicamente de importancia local. De forma más general, un planeta pasará a contener replicadores cuyas consecuencias (fenotipos) tengan efectos beneficiosos, por cualesquiera que sean los medios, sobre el éxito del replicador en ser copiado. Una vez que se atraviesa el Umbral del Fenotipo, los replicadores sobreviven en virtud de sus apoderados, es decir, sus consecuencias sobre el mundo. En nuestro planeta, estas consecuencias están normalmente confinadas en el cuerpo en el que el gen está situado físicamente. Pero no tiene por qué ser necesariamente así. La doctrina del Fenotipo Extendido (a la que he dedicado un libro entero que lleva ese título) afirma que las palancas de poder fenotípicas mediante las cuales los replicadores urden su supervivencia a largo plazo no tienen que estar limitadas al « propio » cuerpo de los replicadores. Los genes pueden alcanzar el exterior de los cuerpos particulares e influir en el mundo en general, incluyendo en otros cuerpos.

No sé cuán universal es probable que sea el Umbral del Fenotipo. Sospecho que habrá sido atravesado en todos aquellos planetas donde haya tenido lugar una explosión de vida más allá de un etapa muy rudimentaria. Y sospecho que lo mismo se cumple para el siguiente umbral de mi lista. Este es el umbral número tres, el Umbral del Equipo Replicador, que en algunos planetas podría ser atravesado antes, o al mismo tiempo, que el Umbral del Fenotipo. En épocas tempranas, los replicadores son probablemente entidades autónomas que se arrastran por ahí junto con replicadores rivales desnudos en la cabecera del río genético. Pero una de las características de nuestro moderno sistema terrestre de información-tecnología basado en ADN/proteína es que ningún gen puede trabajar en aislamiento. El mundo químico en el que un gen hace su trabajo no es la química autosuficiente del medio ambiente externo. Esta, desde luego, constituye el trasfondo, pero un trasfondo bastante remoto. El mundo químico inmediato y vitalmente necesario en el que nace el replicador de ADN es una bolsa concentrada, y mucho más pequeña, de sustancias químicas: la célula. En cierto sentido, es contraproducente llamar a la célula bolsa de sustancias químicas, pues muchas de ellas tienen una elaborada estructura interna de membranas plegadas sobre, dentro de y entre las cuales tienen lugar las reacciones químicas vitales. El microcosmos químico que es la célula es ensamblado por un consorcio de cientos —en las células avanzadas, cientos de miles— de genes. Cada gen contribuye al entorno, del que después se aprovechan todos para sobrevivir. Los genes trabajan en equipos. Vimos esto desde un ángulo sutilmente diferente en el capítulo 1.

Los más sencillos de los sistemas autónomos copiadore de ADN en nuestro planeta son las células bacterianas, y ellas precisan por lo menos un par de cientos de genes para producir los componentes que necesitan. Las células que no son bacterias se llaman células eucarióticas. Nuestras propias células —y las de los animales, las plantas, los hongos y los protozoos— son células eucarióticas. Típicamente tienen decenas o centenas de miles de genes, trabajando todos como un equipo. Como vimos en el capítulo 2, ahora parece probable que la propia célula eucariótica comenzara como un equipo formado por cerca de media docena de células bacterianas contribuyendo entre sí. Pero esta es una forma de trabajo en grupo de orden superior y no es de lo que yo estoy hablando aquí. Estoy hablando del hecho de que todos los genes hacen su trabajo en un ambiente químico ensamblado por un consorcio de genes en la célula.

Una vez que hemos captado la idea de los genes trabajando en equipos es obviamente tentador saltar a la suposición de que hoy en día la selección darwiniana elige entre equipos rivales de genes —asumir que la selección ha subido un peldaño hasta un nivel superior de organización—. Tentador pero, desde mi punto de vista, profundamente erróneo. Es mucho más esclarecedor decir que la selección darwiniana todavía elige entre genes rivales, pero los que son favorecidos son aquellos que prosperan en presencia de otros genes que están siendo simultáneamente favorecidos a su vez en presencia de los otros. Esta es la idea con la que nos encontramos en el capítulo 1, donde vimos que los genes que comparten el mismo afluente del río digital tienden a convertirse en «buenos compañeros».

Quizá el siguiente umbral principal a ser atravesado, a medida que una bomba de replicación adquiere impulso en un planeta, es el Umbral Multicelular y le llamaré el umbral número cuatro. Una célula cualquiera en nuestra forma de vida es, como hemos visto, un pequeño mar interior de sustancias químicas en el cual se baña un equipo de genes. Aunque contiene al equipo completo, fue formado por un subconjunto del equipo. Ahora las células mismas se multiplican dividiéndose por la mitad y cada una de las partes crece de nuevo hasta alcanzar su tamaño completo. Cuando esto sucede, todos los miembros del equipo de genes son duplicados. Si las células no se separan completamente sino que permanecen pegadas entre sí, pueden formar grandes edificios, actuando como ladrillos. La capacidad para construir edificios multicelulares bien podría ser importante en otros mundos además de en el nuestro. Una vez que ha sido atravesado el Umbral de la Multicelularidad pueden aparecer fenotipos cuyas formas y funciones sólo sean apreciadas en una escala enormemente más grande que la de la célula simple. Una cornamenta o una hoja, la lente de un ojo o la concha de un caracol son todas estructuras formadas por células, pero sus células no son versiones en miniatura de la forma grande. En otras palabras, los órganos multicelulares no crecen de la manera en la que lo hacen los cristales. Al

menos en nuestro planeta, crecen más bien como edificios, los cuales tampoco tienen después de todo la misma forma que un ladrillo gigantesco. Una mano tiene una forma característica, pero no está hecha de células con forma de mano, como estaría si los fenotipos crecieran como cristales. De nuevo como un edificio, los órganos multicelulares adquieren sus tamaños y formas característicos debido a que las capas de células (ladrillos) siguen reglas sobre cuándo parar de crecer. Las células también deben saber, en cierto sentido, dónde están situadas en relación con otras células. Las células del hígado se comportan como si supieran que son células del hígado, y saben además si están en el borde de un lóbulo o en el centro. Cómo lo hacen es una pregunta difícil y muy estudiada. Las respuestas probablemente pertenecen al ámbito local de nuestro planeta y no las consideraré más aquí. Ya las he revisado en el capítulo 1. Cualesquiera que sean sus detalles, los métodos han sido perfeccionados exactamente mediante el mismo proceso general que otras mejoras en la vida: la supervivencia no aleatoria de genes con éxito, juzgado éste por sus efectos; en este caso, los efectos sobre el comportamiento celular en relación a las células vecinas.

El siguiente umbral fundamental que quiero considerar, debido a que sospecho que también él tiene probablemente algo más que importancia planetaria local, es el Umbral del Procesamiento de Información a Alta Velocidad. En nuestro planeta este umbral número cinco es alcanzado por una clase especial de células llamadas neuronas, o células nerviosas, y localmente podríamos llamarlo el Umbral del Sistema Nervioso. Al margen de cómo pueda haber sido conseguido en un planeta, el sistema nervioso es importante, porque ahora la acción puede ser llevada a cabo en una escala de tiempo mucho más rápida que la que los genes, con sus palancas de poder químicas, pueden alcanzar directamente. Los depredadores pueden saltar sobre su presa y las presas pueden esquivar el ataque para salvar sus vidas utilizando los aparatos muscular y nervioso que actúan y reaccionan a velocidades enormemente mayores que las velocidades de la papiroflexia embriológica con la que los genes forman el aparato inicialmente. La velocidad y el tiempo de reacción absolutos pueden ser muy diferentes en otros planetas. Pero en cualquier planeta se atraviesa un umbral importante cuando los mecanismos contruidos por los replicadores empiezan a tener órdenes de magnitud del tiempo de reacción más rápidos que las maquinaciones embriológicas de los propios replicadores. La cuestión acerca de si los instrumentos se parecerán necesariamente a los objetos que nosotros, en este planeta, llamamos neuronas y células musculares es más incierta. Pero en aquellos planetas en los que se atraviesa algo equivalente al Umbral del Sistema Nervioso, es probable que de ello deriven importantes consecuencias ulteriores y que la bomba de replicación prosiga con su viaje hacia el exterior.

Entre estas consecuencias podrían estar los grandes agregados de unidades de

manejo de datos —los « cerebros» — capaces de procesar complejas estructuras de datos percibidos por « órganos sensoriales» y capaces de almacenar registros de ellos en la « memoria» . Una consecuencia más elaborada y misteriosa de la superación del umbral de la neurona es la consciencia individual, y llamaré al umbral número seis el Umbral de la Consciencia. No sabemos cuántas veces ha sido traspasado éste en nuestro planeta. Algunos filósofos creen que está crucialmente ligado al lenguaje, que parece haberse alcanzado sólo una vez por la especie de primate bípedo llamada *Homo sapiens*. Tanto si la consciencia requiere lenguaje como si no, reconozcamos en cualquier caso que el Umbral del Lenguaje es uno de los esenciales, el umbral número siete, que podría o no ser atravesado en un planeta. Los detalles del lenguaje, tales como si es transmitido por sonido o por algún otro medio físico, deben ser relegados a la importancia local.

El lenguaje, desde este punto de vista, es el sistema de interconexiones mediante el cual los cerebros (como los llamamos en este planeta) intercambian información con la suficiente familiaridad como para permitir el desarrollo de una tecnología cooperativa. La tecnología cooperativa, que comienza con el desarrollo imitativo de herramientas de piedra y continúa a través de las eras de fundición del metal, los vehículos con ruedas, la potencia de vapor y ahora la electrónica, tiene muchos de los atributos de una explosión por derecho propio y su inicio merece un título: el Umbral de la Tecnología Cooperativa o umbral número ocho. De hecho, es posible que la cultura humana haya promovido una bomba de replicación genuinamente nueva, con un nuevo tipo de entidad auto-replicativa —el meme^[20], como lo he llamado en *El gen egoísta*— proliferando y darwinizándose en un río de cultura. Podría haber una bomba de memes despegando ahora, en paralelo a la bomba de genes que estableció anteriormente las condiciones culturales y cerebrales que hicieron su despegue posible. Pero eso, de nuevo, es una materia demasiado extensa para este capítulo. Debo regresar al tema principal de la explosión planetaria y resaltar que una vez que se ha alcanzado el estadio de la tecnología cooperativa es bastante probable que en alguna parte a lo largo de la ruta se conseguirá el poder para hacer impacto fuera del planeta origen. El umbral número nueve, el Umbral de la Radio, es atravesado y ahora a los observadores externos les es posible darse cuenta de que un sistema estelar ha explotado recientemente como una bomba de replicación.

Como hemos visto, es probable que el primer presentimiento que alberguen los observadores externos derive de las ondas de radio que se extienden hacia fuera como un subproducto de las comunicaciones internas dentro del planeta origen. Más tarde, los herederos tecnológicos de la bomba de replicación podrían ellos mismos volver deliberadamente su atención hacia fuera, en dirección a las estrellas. Nuestros vacilantes pasos en esa dirección han incluido el lanzamiento hacia el espacio de mensajes adaptados específicamente para inteligencias

extraterrestres. ¿Cómo puedes diseñar mensajes para inteligencias cuya naturaleza desconoces? Obviamente, es difícil y es muy probable que nuestros esfuerzos hayan sido desacertados.

Se ha prestado más atención a convencer a los observadores alienígenas de que existimos que a mandarles mensajes con contenido sustancial. Esta tarea es la misma que enfrentaba mi hipotético profesor Crickson en el capítulo 1. Él traducía los números primos al código de ADN, y una forma sensata de hacer evidente nuestra presencia a otros mundos sería una política similar utilizando la radio. La música podría parecer el mejor anuncio de nuestra especie y aunque la audiencia careciera de oídos serían capaces de apreciarla a su manera. El famoso científico y escritor Lewis Thomas sugirió que emitiéramos Bach, todas las obras de Bach y sólo Bach, aunque temía que pudiera ser tomado como una fanfarronada. Pero la música podría ser confundida igualmente, por una mente lo suficientemente alienígena, con las emanaciones rítmicas de un púlsar. Los púlsares son estrellas que emiten pulsos rítmicos de ondas de radio a intervalos de unos pocos segundos o incluso menores. Cuando en 1967 fueron descubiertos por primera vez por un grupo de radioastrónomos de Cambridge hubo una momentánea excitación mientras la gente se preguntaba si las señales podrían ser un mensaje procedente del espacio. Pero pronto se dieron cuenta de que había una explicación más parsimoniosa: una pequeña estrella estaba rotando extremadamente rápido y proyectando un haz de ondas de radio a su alrededor como si fuera un faro. Hasta la fecha jamás se han recibido comunicaciones autenticadas procedentes del exterior de nuestro planeta.

Después de las ondas de radio, el único umbral ulterior que hemos imaginado en el progreso hacia el exterior de nuestra propia explosión es el propio viaje espacial físico: el umbral número diez, el Umbral del Viaje Espacial. Los escritores de ciencia-ficción han soñado con la proliferación interestelar de colonias humanas hijas o con sus creaciones robóticas. Estas colonias hijas podrían ser consideradas simientes o infecciones, o nuevos focos de información auto-replicativa —focos que podrían subsiguientemente expandirse de nuevo hacia el exterior, a modo de bombas de replicación satélites, emitiendo tanto genes como memes—. Si esta visión se llega a realizar alguna vez no sería quizá muy irreverente imaginar a algún Christopher Marlowe del futuro volviendo a la imaginería del río digital. « ¡Mirad, mirad, cómo la corriente de la vida fluye en el firmamento! » .

Hasta ahora casi no hemos dado el primer paso hacia el exterior. Hemos estado en la luna pero, por magnífico que sea este logro, la luna, aunque no es una calabaza, es tan local como difícil de tener en cuenta como viaje desde el punto de vista de los alienígenas con los que finalmente podríamos llegar a comunicarnos. Hemos mandado un puñado de naves sin tripulación al espacio profundo con trayectorias que no tienen fin visible. Una de ellas, como resultado

de la inspiración del visionario astrónomo norteamericano Carl Sagan, lleva un mensaje diseñado para que sea descifrado por cualquier inteligencia extraterrestre que pudiera encontrarlo por casualidad. El mensaje está adornado con un dibujo de la especie que lo creó, la imagen de un hombre y una mujer desnudos.

Podría parecer que esto nos devuelve en círculo otra vez a los mitos ancestrales con los que empezamos. Pero esta pareja no son Adán y Eva, y el mensaje escondido tras sus gráciles formas es en su globalidad un testamento más digno de nuestra explosión vital que cualquier otra cosa sacada del Génesis. La placa registra, en lo que está diseñado para que sea un lenguaje icónico comprensible, su propia génesis en el tercer planeta de una estrella cuyas coordenadas en la galaxia están registradas con precisión. Nuestras credenciales están establecidas después mediante algunas representaciones icónicas de los principios fundamentales de la química y las matemáticas. Si la cápsula es alguna vez recogida por seres inteligentes atribuirán a la civilización que la creó algo más que primitivas supersticiones tribales. A través del abismo del espacio sabrán que existió hace mucho tiempo otra explosión de vida que culminó en una civilización con la que habría merecido la pena conversar.

Muy a pesar nuestro, las probabilidades de que esta cápsula pase a menos de un pársec de otra bomba de replicación son tristemente pequeñas. Algunos comentaristas ven en ella un valor de inspiración para la población terrestre. La estatua de un hombre y una mujer desnudos con sus manos levantadas en gesto de paz, mandada deliberadamente a un viaje eterno hacia el exterior, entre las estrellas —el primer fruto exportado del conocimiento de nuestra explosión de vida—. Con seguridad su contemplación podría tener algunos efectos beneficiosos sobre nuestra consciencia pequeña y normalmente localista; podría retener algún eco del impacto poético que la estatua de Newton en el Trinity College de Cambridge tuvo sobre la consciencia reconocidamente gigante de William Wordsworth:

Y desde mi almohada, mirando más allá, a la luz
De la luna o de las estrellas favorecedoras, pude contemplar
La antesala donde se levantaba la estatua
De Newton con su prisma y su cara silenciosa,
El maravilloso índice de una mente para siempre
Viajando a través de extraños mares de Pensamiento, sola^[21].

Bibliografía y lecturas adicionales

Con unas pocas excepciones, he limitado esta lista a libros fácilmente accesibles más que a trabajos técnicos que sólo se pueden encontrar en las bibliotecas universitarias.

Bodmer, Walter y Robin McKie, *The Book of Man: The Human Genome Project and the Quest to Discover Our Genetic Heritage* (Nueva York: Scribners, 1995).

Bonner, John Tyler, *Life Cycles: Reflections of an Evolutionary Biologist* (Princeton: Princeton University Press, 1993).

Cain, Arthur J.,... *Animal Species and Their Evolution* (Nueva York: Harper Torchbooks, 1960).

Caims-Smith, A. Graham, *Seven Clues to the Origin of Life* (Cambridge: Cambridge University Press, 1985).

Cherfas, Jeremy y John Gribbin, *The Redundant Male: Is Sex Irrelevant in the Modern World?* (Nueva York: Pantheon, 1984).

Clarke, Arthur C.,... *Perfiles del futuro*, Caralt, Barcelona, 1977.

Crick, Francis, *Qué loco propósito*, Tusquets, Barcelona, 1989.

Cronin, Helena, *The Ant and the Peacock: Altruism and Sexual Selection from Darwin to Today* (Nueva York: Cambridge University Press, 1991).

Darwin, Charles, *El origen de las especies*, Espasa-Calpe, Madrid, 1987.

___. « De los diferentes artificios mediante los cuales las orquídeas son fecundadas por los insectos », Madrid, Alianza.

Dawkins, Richard, *The Extended Phenotype* (Nueva York: Oxford University

- Press, 1989).
- ___ *El relojero ciego*, Labor, Madrid, 1989.
- ___ *El gen egoísta*, Salvat, Barcelona, 1993.
- Dennett, Daniel C,... *La peligrosa idea de Darwin*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1999.
- Drexler, K. Eric, *Engines of Creation* (Garden City, N. Y:... Anchor Press/Doubleday, 1986).
- Durant, John R,... ed. *Human Origins* (Oxford: Oxford University Press, 1989).
- Fabre, Jean-Henri, *Insects*, David Black, ed. (Nueva York Scribners, 1979).
- Fisher, Ronald A,... *The Genetical Theory of Natural Selection*, 2.ª edición revisada. (Nueva York Dover, 1958).
- Frisch, Karl von, *La vida de las abejas*, Labor, Madrid, 1984.
- Gould, James L. Y Carol G. Gould, *The Honey Bee* (Nueva York Scientific American Library, 1988).
- Gould, Stephen J,... *La vida maravillosa*, Crítica, Madrid, 1999.
- Gribbin, John y Jeremy Cherfas, *The Monkey Puzzle: Reshaping the Evolutionary Tree* (Nueva York Pantheon, 1982).
- Hein, Piet, con Jens Arup, Grooms (Garden City, N. Y:... Doubleday, 1969).
- Hippel, Arndt von, *Human Evolutionary Biology* (Anchorage: Stone Age Press, 1994).
- Humphrey, Nicholas K,... *Consciousness Regained* (Oxford: Oxford University Press, 1983).
- Jones, Steve, Robert Martin y David Pilbeam, eds,... *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution* (Nueva York Cambridge University Press, 1992).
- Kingdom, Jonathan, *Self-made Man: Human Evolution from Eden to Extinction?* (Nueva York Wiley, 1993).
- Macdonald, Ken C. Y Bruce P. Luyendyk, «The Crest of the East Pacific Rise», *Scientific American*, Mayo 1981, págs. 100-116.

- Manning, Aubrey y Marian S. Dawkins, *Introducción a la conducta animal*, Alianza, Madrid, 1985.
- Margulis, Lynn y Dorion Sagan, *Microcosmos*, Tusquets, Barcelona, 1995.
- Maynard Smith, John, *The Theory of Evolution* (Cambridge: Cambridge University Press, 1993).
- Meeuse, Bastiaan y Sean Morris, *The Sex Life of Plants* (Londres: Faber & Faber, 1984).
- Monod, Jacques, *El azar y la necesidad*, Seix Barral, Barcelona, 1972.
- Nesse, Randolph y George C. Williams, *Why We Get Sick: The New Theory of Darwinian Medicine* (Nueva York Random House, 1995).
- Nilsson, Daniel E. Y Susanne Pelger, « A Pessimistic Estimate of the Time Required for an Eye to Evolve », Proceedings of the Royal Society of London, B (1994).
- Owen, Denis, *Camouflage and Mimicry* (Chicago: University of Chicago Press, 1982).
- Pinker, Steven, *El instinto del lenguaje: cómo crea el lenguaje la mente*, Alianza, Madrid, 1999.
- Ridley, Matt, *The Red Queen: Sex and the Evolution of Human Nature* (Nueva York Macmillan, 1994).
- Sagan, Carl, *Cosmos*, Planeta, Barcelona, 1997.
- ___ Y Ann Druyan, *Sombras de antepasados olvidados*, Circulo de Lectores, Barcelona, 1994.
- Tinbergen, Niko, *The Herring Gull's World* (Nueva York Harper & Row, 1960).
- ___ *Naturalistas curiosos*, Salvat, Barcelona, 1995.
- Trivers, Robert, *Social Evolution* (Menlo Park, Calif:... Benjamin-Cummings, 1985).
- Watson, James D,... *The Double Helix: A Personal Account of the Discovery of the Structure of DNA* (Nueva York Atheneum, 1968).
- Weiner, Jonathan, *The Beak of the Finch: A Story of Evolution in Our Time*

(Nueva York Knopf, 1994).

Wickler, Wolfgang, *Mimicry in Plants and Animals*, trad. R. D. Martin, (Nueva York McGraw-Hill, 1968).

Williams, George C,... *Natural Selection: Domains, Levels, and Challenges* (Nueva York Oxford University Press, 1992).

Wilson, Edward O,... *La diversidad de la vida*, Círculo de Lectores, Barcelona, 1994.

Wolpert, Lewis, *The Triumph of the Embryo* (Nueva York Oxford University Press, 1992).



RICHARD DAWKINS. Nació en Nairobi en 1941 y se educó en la Universidad de Oxford. Ha obtenido las cátedras Gifford de la Universidad de Glasgow y Sidwick del Newnham College de Cambridge. Además de enseñar zoología en las universidades de California y Oxford, ha presentado programas de televisión en la BBC y dirigido varias publicaciones científicas. En 1995 se convirtió en el primer titular de la recién creada cátedra Charles Simony de Divulgación Científica en la Universidad de Oxford.

Es el autor de títulos tan decisivos como: *El gen egoísta* (*The selfish gene*, 1976 y 1989); *El fenotipo extendido* (*The extended phenotype*, 1982); *El relojero ciego* (*The blind watchmaker*, 1986); *El río del Edén* (*River out of Eden*, 1995); *Escalando el monte improbable* (*Climbing mount improbable*, 1996) y *Destejiendo el arco iris* (*Unweaving the rainbow*, 1998).

Además de innumerables premios y distinciones, Dawkins encabezó la lista de 2004 de los 100 mejores intelectuales británicos de la revista Prospect, por decisión de los lectores, recibiendo el doble de votos que el siguiente clasificado.

La Alianza Atea Internacional otorga desde el 2003 el Premio Richard Dawkins, en honor a su labor. Además, en 2007 fue elegido por la revista *Time* como una de las cien personas más influyentes del mundo.

Notas

[1] *Nature, it seems, is the popular name / For milliards and milliards and milliards
/ Of particles playing their infinite game / Of billiards and billiards and billiards. <<*

[2] Para ser exactos, hay excepciones: algunos animales, como los áfidos, se reproducen sin relaciones sexuales. Técnicas como la fertilización artificial hacen posible que los humanos modernos tengamos hijos sin copular, e incluso — ya que los óvulos para la fertilización *in vitro* pueden tomarse de un feto hembra — sin alcanzar la edad adulta. Pero para la mayoría de los propósitos la fuerza de mi idea no disminuye. <<

[3] «Estremecimiento de malicia»; el término francés *frisson* significa estremecimiento y la palabra alemana *Schadenfreude* se traduciría como «alegría por la tristeza ajena». (N. de la T.) <<

[4] Los lectores podrían estar interesados en tener estas ideas en cuenta cuando consulten *La vida maravillosa*, la bella narración de Stephen J. Gould sobre la fauna cámbrica del esquisto de Burgess. <<

[5] Palabra que proviene de *binary digits* y que significa símbolos o dígitos 9 binarios; también es una medida de la cantidad de información que contiene un mensaje. (*N. de la T.*) <<

[6] Posiblemente, una contracción en honor a Watson y Crick (*N. de la T.*) <<

[7] Juego en el que una frase es transmitida por un círculo de niños, que la susurran en el oído de su compañero de la derecha. Para cuando llega al niño del que partió ha sido convertida en una frase sin sentido e ininteligible. (*N. de la T.*)

<<

[8] En Melanesia y otras zonas son movimientos religiosos tribales que confían en la llegada de un « cargamento » concedido por los dioses. Construyen pistas de aterrizaje y adoran objetos procedentes de la civilización occidental. Los extranjeros blancos son considerados los intermediarios entre las fuerzas sobrenaturales y los nativos. (*N. de la T.*) <<

[9] Esta no es la primera vez que he utilizado este argumento de choque y debo recalcar que está dirigido estrictamente a personas que piensan como mi colega de la calabaza. Para nuestra confusión, hay otros que también se llaman a sí mismos relativistas culturales, aunque sus puntos de vista sean completamente diferentes y perfectamente sensatos. Para estos últimos, el relativismo cultural sólo significa que no puedes entender una cultura si intentas interpretar sus creencias en términos de tu propia cultura; tienes que ver cada una de las creencias en el contexto de las otras creencias de la cultura. Sospecho que esta sensata forma de relativismo cultural es la original y que la que he criticado es una perversión extremista, aunque alarmantemente frecuente, de ella. Los relativistas sensatos deberían trabajar más duro para distanciarse a sí mismos de la rama fatua. <<

[10] *The Spectator* (Londres), 6 de agosto de 1994. <<

[11] Paloma tortuga, *turtle dove*, es en inglés moderno el nombre común de la tórtola. Antiguamente se utilizaba únicamente *turtle* para designar a esta ave, de ahí la confusión de significado entre el arcaísmo y la voz actual. (*N. de la T.*) <<

[12] En el original *sphexish*. (*N. de la T.*) <<

[13] En alemán en el original: « forma » o « figura » . (*N. de la T.*) <<

[14] Espero que esto no ofenda a nadie. Como apoyo a mi idea, cito el siguiente texto extraído de *Science and Christian Belief* (La ciencia y la fe cristiana), escrito por un distinguido físico, el reverendo John Polkinghorne (1994, pág. 16): «Alguien como Richard Dawkins puede presentar persuasivas imágenes de cómo la criba y la acumulación de pequeñas diferencias pueden producir desarrollos a gran escala, pero, instintivamente, un científico de la física querría ver una estimación, por basta que ésta fuera, de cuántos pasos nos llevarían de una célula ligeramente sensible a la luz a un ojo de insecto completamente formado, y de aproximadamente el número de generaciones que se necesitan para que las mutaciones necesarias tengan lugar» . <<

[15] Presa en forma de arco que atraviesa de lado a lado el río Zambeze en la frontera entre Zambia y Zimbabue. (*N. de la T.*) <<

[16] William Paley, teólogo y autor de la obra *Teología natural*, mantenía que el diseño de los organismos ponía en evidencia la existencia de un creador. El diseño funcional del ojo humano constituía una prueba concluyente de la existencia de Dios. (*N. de la T.*) <<

[17] Título honorífico concedido a mujeres distinguidas con la Orden del Imperio Británico. (*N. de la T.*) <<

[18] *For Nature, heartless, witless Nature / Will neither know nor care.* <<

[19] ARP corresponde a Air Raid Precautions, el servicio norteamericano de defensa militar contra ataques aéreos. RAF corresponde a Royal Air Force, las fuerzas aéreas británicas. (*N. de la T.*) <<

[20] Unidad de transmisión cultural que se propaga saltando de un cerebro a otro mediante el proceso de « imitación» (por ejemplo, canciones, modas, formas de construir vasijas o arcos....). Véase cap. 11 de *El gen egoísta*. (N. de la T.) <<

[21] *And from my pillow, looking forth by light/Of moon or favouring stars, I could
behold/The antechapel where the statue stood/Of Newton with his prism and silent
face,/The marble index of a mind for ever/Voyaging through strange seas of
Thought, alone. <<*