

# **EL JUEGO DE LO POSIBLE**

*François Jacob*

-Nadie puede creer cosas que son imposibles- dijo [Alicia]  
-Creo que te falta práctica- dijo la Reina –cuando yo tenía  
tu edad ... llegué a creer seis cosas imposibles antes del  
desayuno.

Lewis Carroll, *A través del espejo*

# Prólogo

A menudo, las obras del siglo XVI consagradas a la zoología contienen soberbios grabados que representan los animales que pueblan nuestro planeta. En algunas de ellas pueden encontrarse descripciones minuciosas de perros con cabeza de pez, hombres con patas de gallina o mujeres con varias cabezas de serpiente. Por sí misma, la noción de monstruos en que se mezclan los caracteres de especies distintas no resulta especialmente sorprendente: todos hemos imaginado o dibujado alguno de esos híbridos. Pero lo desconcertante de dichas obras es que en el siglo XVI esas criaturas no pertenecían al mundo de lo imaginario, sino a la realidad. Mucha gente las había visto o podía describirlas con detalle. Esos monstruos convivían con los animales de la vida diaria. En cierto sentido, se mantenían dentro de los límites de lo posible.

Sería impropio reírse de ello: hacemos exactamente lo mismo con nuestras obras de ciencia ficción, por ejemplo. Las abominables criaturas que persiguen al pobre astronauta en un planeta lejano siempre son los productos de una recombinación entre organismos terrestres. Los seres procedentes del espacio exterior para explorar nuestro planeta siempre han tenido un aspecto humano. Normalmente se les representa saliendo de sus plantillos volantes: son vertebrados, mamíferos sin ningún género de duda, que caminan erguidos sobre sus patas traseras. Las únicas variaciones son las relativas al tamaño del cuerpo y al número de ojos. En general, esas criaturas poseen cráneos de mayor volumen que los nuestros con lo cual se quiere indicar que poseen cerebros mayores; a veces disponen también de antenas, evocando órganos sensoriales especialmente sofisticados. Lo sorprendente, también aquí, es lo que se considera como posible. Es la idea – ciento veinte años después de Darwin – de que si existe vida en algún lugar del universo, debe producir animales parecidos a los que pueblan la Tierra; más aún, de que debe evolucionar necesariamente hacia algo similar a los seres humanos.

El interés de todas esas criaturas reside en mostrar cómo una cultura se enfrenta a lo posible e impone sus límites. Ya sea por grupos o individualmente, la vida humana siempre conlleva un diálogo continuo entre lo que podría ser y lo que es, entre lo posible y lo real. Una mezcla sutil de creencia, conocimiento e imaginación conforma ante nuestros ojos la imagen siempre cambiante de lo posible. A esa imagen ajustamos nuestros deseos y nuestros temores. A ese “posible” adecuamos nuestro comportamiento y nuestros actos. En cierto sentido, muchas de las actividades humanas, las artes, las ciencias, las técnicas o la política, no son sino formas específicas, cada una con sus propias reglas, de practicar el juego de lo posible.

Al contrario de lo que suele creerse, en ciencia lo importante es tanto el espíritu como el producto, tanto la apertura, la primacía de la crítica, la sumisión a lo imprevisto por muy chocante que sea, como el resultado, por muy nuevo que resulte. Hace ya bastante que los científicos han renunciado a la idea de una verdad última e intangible, imagen exacta de una “realidad” en espera de ser desvelada. En la actualidad saben que tienen que contentarse con lo parcial y lo provisional. Esta actitud choca a veces con la tendencia natural del espíritu humano a reclamar unidad y coherencia en su representación del mundo bajo las formas más diversas. De hecho, ese conflicto entre lo universal y lo local, entre lo eterno y lo provisional, reaparece periódicamente en una serie de polémicas que enfrentan a los que rechazan una visión total e impuesta del

mundo con los que la necesitan imperiosamente. Pocos consiguen aceptar que la vida y el hombre se han transformado en objetos de investigación y no de revelación.

Desde hace unos cuantos años, a los científicos se les hacen muchos reproches. Se les acusa de no tener ni corazón ni conciencia, de no tener interés por el resto de la humanidad; he incluso de ser individuos peligrosos que no dudan en descubrir medios de destrucción y de coerción y en utilizarlos. Es un alto honor. La proporción de imbéciles e ineptos es una constante que aparece en todas las muestras de una población, en la comunidad científica y en el mundo de los agentes de seguros, entre los escritores y los campesinos, entre el clero y la clase política. Y, a pesar del Dr. Frankenstein y el Dr. Extrañoamor, las catástrofes de la historia se deben menos a los científicos que a los sacerdotes y a los políticos.

No sólo por intereses se matan los hombres entre sí. También por dogmatismo. Nada hay tan peligroso como la certeza de tener razón. Nada resulta tan destructivo como la obsesión de una verdad tenida por absoluta. Todos los crímenes de la historia son consecuencia de algún fanatismo. Todas las matanzas se han llevado a cabo en nombre de la virtud, de la religión verdadera, del nacionalismo legítimo, de la política idónea, de la ideología justa; en pocas palabras, en nombre del combate contra la verdad del otro, del combate contra Satán. Esa frialdad y esa objetividad que se reprochan tan frecuentemente a los científicos tal vez resultan más útiles que el acaloramiento y la subjetividad cuando se tratan algunos asuntos humanos. Pues no son las ideas de la ciencia las que encienden las pasiones. Son las pasiones las que se sirven de la ciencia para defender su causa. La ciencia no lleva al racismo y al odio. Es el odio el que recurre a la ciencia para justificar su racismo. Se puede reprochar a algunos científicos la vehemencia con que a veces defienden sus ideas. Pero todavía no se ha perpetrado ningún genocidio para hacer triunfar una teoría científica. A fines de este siglo XX tendría que quedar claro para todo el mundo que ningún sistema es capaz de explicar todos los aspectos y detalles de nuestro universo. Haber contribuido a acabar con la idea de verdad intangible y eterna tal vez sea uno de los logros más importantes de la ciencia.



Este libro trata de la herencia y de reproducción; de sexualidad, de envejecimiento y de moléculas. Ante todo, trata de la teoría de la evolución, de su status y de su contenido. Si bien la teoría de la evolución proporciona un marco sin el cual resulta muy difícil comprender de dónde venimos y por qué somos así, conviene también precisar los límites a partir de los cuales se utiliza, no ya como teoría científica, sino como un mito.

En los últimos años, he abordado algunos de esos temas en dos conferencias: una, pronunciada en el Instituto Weizmann (Israel) y en la Universidad de California en Berkeley, se publicó en la revista "*Science*" y posteriormente en el periódico "*Le Monde*" con el título "Évolution et bricolage"; otra, pronunciada en la Academia de Cirugía de París, se publicó en el "*Journal de Chirurgie*" y luego en "*Le Monde*" con el título "Mon dissemblable mon frère". La invitación a pronunciar las Jessie and John Danz Lectures en la Universidad de Washington me brindó la oportunidad de desarrollar y ampliar esas reflexiones y de escribir este pequeño libro. Quiero expresar mi agradecimiento a todos aquellos que tuvieron algo que ver con esa invitación y que me ofrecieron su calurosa amistad durante mi estancia en Seattle.

# 1

## Mito y ciencia

Las teorías pasan. La rana permanece.

Jean Rostand, *El correo de un biólogo*

Tal vez algún día los físicos consigan demostrar que el funcionamiento del universo no podía ser muy distinto del que es en realidad. Tal vez algún día logren construir una teoría que demuestre que nuestro mundo es el único posible, que no puede concebirse una materia dotada de otras propiedades. Sin embargo, no es nada difícil encontrar arbitrariedades, cuando no fantasía, en la estructura y funcionamiento de la naturaleza. En un cuento de mi infancia, un hada daba al joven príncipe el siguiente consejo: “Haz sonar tu cuerno y el castillo del ogro se derrumbará”. En la Biblia, Josué derriba las murallas de Jericó haciendo sonar su trompeta. En esos dos universos, existe sin duda una relación causal entre el hecho de hacer sonar un instrumento y el derrumbamiento de los muros. Así es cómo funciona el mundo. Las cosas son así. A otro nivel, también en nuestro universo físico tiene cabida la arbitrariedad. También en este caso las cosas son así. Resulta difícil, por lo menos en mi caso, imaginar un mundo en el que uno y uno no sumen dos. En esa relación hay un aspecto inevitable, posiblemente porque, refleja la forma de funcionar de nuestro cerebro. En cambio, se puede imaginar perfectamente un mundo en el que las leyes físicas fuesen distintas a las del nuestro; en el que el hielo en lugar de subir a la superficie, se hundiese en el agua; o en el que una manzana, en vez de caer del árbol, se elevara hacia el cielo hasta perderse de vista.

Posiblemente sea en el mundo de los seres vivos donde se manifiesta con mayor nitidez esa contingencia. No sólo porqu los serews vivos podrían tener formas muy diversas, sino también debido a su funcionamiento, a ciertas particularidades como la muerte y la reproducción. Resulta difícil advertir alguna necesidad en el hecho de que los árboles tengan frutos. O en que los animales envejezcan, o en la sexualidad. Por qué hacen falta dos para producir un tercero? ¿Por qué de todas las funciones del cuerpo, la

reproducción es única que queda garantizada por un órgano del que cada individuo tan solo posee la mitad, lo cual exige un gran gasto de tiempo y energía para encontrar la otra mitad?

De hecho, la sexualidad no es una condición necesaria para la vida. Muchos organismos no poseen sexo y, sin embargo, parecen ser igualmente felices. Se reproducen por bipartición o por gemación, bastando un único organismo para producir dos idénticos. ¿Porqué no ocurre lo mismo con nosotros? ¿Por qué la mayoría de los animales y las plantas tienen que ser dos para conseguir el mismo resultado? ¿Por qué dos sexos y no tres? Pues nada se opone a imaginar un mundo en que la producción de un ser humano exigiese la participación de no ya de dos, sino de tres individuos diferentes. ¡Cuántas consecuencias tendría la necesidad de la confluencia de tres personas! ¡Cuántos temas inéditos para los novelistas, variaciones para los psicólogos y complicaciones para los juristas! Pero tal vez eso sería excesivo. Es posible que no fuésemos capaces de resistir tantos placeres y tormentos. Contentémonos con nuestros dos sexos.

La existencia de esos dos sexos se justifica en cada cultura humana a través de ciertos mitos sobre los que se fundamenta el origen del mundo, de los animales y de los hombres. Pero, en definitiva, sólo hay dos formas de enfocar la génesis de los sexos, y las mitologías han elaborado una serie infinita de variaciones sobre esos dos temas. En primer lugar, puede considerarse la sexualidad como un fenómeno primario, por decirlo así. Los dos sexos son tan antiguos como el propio mundo. Antes de ellos, no podía existir la vida. La dualidad sexual refleja la dualidad cósmica, los dos polos de fuerzas que se supone rigen el mundo y que se manifiestan a través de todos los fenómenos naturales: el día y la noche, el cielo y la tierra, el agua y el fuego. Así ocurre el taoísmo con el yin y el yang, principios masculino y femenino de los que se derivan todas las cosas, la vida, el movimiento. Análogamente, en la cosmogonía sumeria, el agua, que constituye la manifestación primigenia de la vida en el mundo, se presenta bajo un doble aspecto: Apsu, el agua dulce o principio masculino, y Tiamat, el agua salada, o principio femenino; de la unión de Apsu y Tiamat nace Mummu, especie de agua en movimiento que posee espíritu y logos. Encontramos otra variante en ciertos escritos del antiguo Egipto donde, en un principio, la divinidad Khum era una; pero la primera preocupación del demiurgo fue la de crear una pareja, Chu y Tefnut, quienes engendraron la humanidad por la vía habitual de las parejas. Una última e interesante variación es la del Veda, para el que la primera pareja creada son dos gemelos, Yami y Yama. La especie humana procedería entonces de un primer acto incestuoso.

Pero también puede considerarse la dualidad sexual como un fenómeno secundario. Lo que se creó fue uno; sólo más tarde se convirtió en dos. Las variaciones entonces se centran en el mecanismo de formación de los dos sexos, el acontecimiento que rompe con la unidad original. En los Upanishad, el Dios, deseoso de evitar su soledad se desdobra en dos mitades de sexos opuestos, que a su vez generan la humanidad. En otras culturas, por el contrario, la diferenciación sexual aparece en seres que no son del todo ni dioses ni hombres. En algunos relatos de Zaratustra, por ejemplo, Yima, el ser creado por el demiurgo, representa una especie de monstruo en el que confluyen los dos sexos. Pero esa unidad sólo es provisional, pues rápidamente Yima se dividirá en dos. Una situación parecida se encuentra en el relato que hace Aristófanes en *El banquete* de Platón: en una época en que la sexualidad funcionaba ya con gran eficacia entre las diosas y los dioses del Olimpo, lo que posteriormente iba a transformarse en la humanidad no había superado todavía el estado andrógino. Estos organismos esféricos tenían una cabeza de dos caras, con cuatro pies, cuatro manos, cuatro orejas y una doble dosis de “partes nobles”. Se desplazaban a gran velocidad

rodando sobre si mismos. Su fortaleza y su audacia acabaron por inquietar a Zeus, quien decidió cortarlos en dos “como se corta un huevo con una crin”, según especifica Platón. Apolo fue el encargado de operar a los andróginos y de volverlos a coser para que los mortales fuesen más modestos pero tuvieran un aspecto más presentable. Desde entonces, cada una de esas mitades busca la unión con la otra que, en el caso de los griegos, no tenía por qué ser del sexo opuesto. Por último, encontramos otra variación sobre el mismo tema en el Antiguo Testamento. El ser humano no es creado bajo un aspecto definitivo masculino y no el de un monstruo precursor. A partir de ahí, Eva sale de Adán. Ya sea dividiendo lo único, ya sea mutilando el hombre de la mujer, en el Génesis se les obliga a reconstruir el ser inicial para poder multiplicarse.

Como siempre, estos mitos son muy esclarecedores de la condición humana, cada uno con su propia poesía. A través de la mutilación original, explican por qué el cuerpo humano dispone de todo aquello que le es necesario para respirar, digerir, pensar, pero no para reproducirse. Procrear es recuperar la unidad inicial. Es desaparecer como individuo para sumergirse en la especie. Mediante el acto sexual, el hombre y la mujer buscan incansablemente reconstruir el ser único. Así queda justificada la eterna persecución del otro, esa serie de ciclos en los que la especie se divide una y otra vez.



Hasta mediados del siglo XIX, la ciencia tenía poco que decir sobre la sexualidad. Debía contentarse con describir y hacer inventario de sus variedades. Se trataba de un hecho para el que, como decía Buffon, “no hay más solución que la del propio hecho”<sup>(1)</sup>. Tan sólo después de aparecer la teoría de la evolución pudo la sexualidad adquirir un rango científico. Sólo entonces pudieron formularse las cuestiones acerca de la sexualidad, no ya en términos de origen, sino de función. Esa función fue sugerida por el propio Darwin y también por August Weismann: se trataba de producir, según escribía Weismann en 1885, “las diferencias individuales mediante las cuales la selección natural crea nuevas especies”<sup>(2)</sup>.

Pues solamente puede existir selección, y por tanto cambio, entre aquello que no es idéntico. La variabilidad individual nutre la evolución. Al hecho de que los individuos presenten singularidades hereditarias se debe que se reproduzcan de forma diferenciada, que algunos generen una descendencia más numerosa que otros. Para Weismann, la sexualidad, con su extraordinaria variedad de manifestaciones en el mundo viviente, adquiriría un sentido si servía para producir la variabilidad individual.

Para la biología moderna, todo ser vivo se forma al llevarse a cabo un programa codificado en sus cromosomas. En los organismos que se reproducen asexualmente, por ejemplo por bipartición, el programa genético es exactamente el mismo de una generación a otra. Todos los individuos de la población resultan, por tanto, idénticos, excepto algunos mutantes raros. Unas poblaciones de ese tipo sólo pueden adaptarse a través de la selección de esos mutantes, presionados por el medio. Por el contrario, cuando la sexualidad constituye condición necesaria para la reproducción, cada programa se forma no ya por copia exacta de un único programa, sino por síntesis de dos programas diferentes. En consecuencia, cada programa genético, es decir cada individuo, resulta diferente de todos los demás, a excepción de los gemelos univitelinos. Cada recién nacido de una determinada pareja es el resultado de una lotería genética. No representa sino una unidad de una amplia multitud de posibles niños, cada uno de los cuales podría haber sido concebido también por la misma pareja, en las mismas circunstancias, si de los millones de espermatozoides emitidos por el padre hubiese sido

otro el que hubiese fecundado el óvulo de la madre (un óvulo, a su vez, de los muchos posibles). Y todos esos posibles niños también, hubiesen diferido entre sí, como ocurre con los niños que vemos todos los días. Si resulta tan complicado mezclar nuestros genes con los de otra persona es para asegurarnos que nuestro hijo será distinto de nosotros mismos y de nuestros demás hijos. Si hacen falta dos para reproducirse, es para hacer otro.

Así, pues, se considera la sexualidad como un mecanismo generador de diferencias. Quedan todavía muchas cuestiones por resolver, por ejemplo la forma de aparición de la sexualidad en la evolución, la ventaja relativa de ciertas formas de partenogénesis y de hermafroditismo respecto a la reproducción sexual, la proporción de los sexos, la importancia –si es que la tiene- de la selección de grupo, etc. Pero, como pusieron de manifiesto R. A. Fisher<sup>(3)</sup> y H. J. Muller<sup>(4)</sup>, y más recientemente G. C. Williams<sup>(5)</sup> y J. Maynard Smith<sup>(6)</sup>, el nuevo acervo de material genético de cada generación permite yuxtaponer rápidamente mutaciones favorables que, en organismos asexuados, permanecerían separadas. Una población con sexualidad puede evolucionar, por tanto, más de prisa que una población que carece de ella. A largo plazo, las poblaciones sexuales pueden sobrevivir allí donde se extinguirían las poblaciones asexuales. Además, los organismos con reproducción sexual ofrecen una mayor diversidad de fenotipos en su descendencia. A corto plazo tienen, por tanto, mayores posibilidades de producir individuos adaptados a las condiciones nuevas creadas por las fluctuaciones del entorno. La sexualidad proporciona, pues, un margen de seguridad contra la incertidumbre del medio. Es una especie de seguro ante lo imprevisto.



En determinados aspectos, los mitos y las ciencias cumplen la misma función. Ambos proporcionan a la humanidad una representación del mundo y de las fuerzas que lo gobiernan. Ambos enmarcan los límites de lo posible. En su forma moderna, las ciencias nacieron hacia el final del Renacimiento, en una época en la que el hombre occidental estaba transformando radicalmente su propia relación con el mundo que lo rodeaba; una época en la que intentaba sin desmayo volver a crear un universo más en consonancia con la percepción de sus sentidos. A partir del Renacimiento, el arte occidental se desmarcó totalmente de todos los demás. Con el invento de la perspectiva y de la luz, de la profundidad y de la expresión, la propia función de la pintura transformó Europa en unas pocas generaciones humanas: en lugar de simbolizar, la pintura empezó a representar. La visita a un museo pone de manifiesto una sucesión de esfuerzos muy parecidos a los de la ciencia. De los primitivos barrocos, los pintores no cejaron en su empeño de perfeccionar los medios de representación, de buscar sin descanso la forma más fidedigna y convincente de mostrar las cosas y los seres. Recurriendo a ilusiones ópticas crearon un mundo nuevo, mundo abierto a las tres dimensiones. Entre una Madonna de Cimabue, inmóvil entre sus velos y situada en un palacio simbólico, y una figura femenina de Tiziano recostada sobre su lecho, hay la misma ruptura que entre el mundo cerrado de la Edad Media y el universo infinito que aparece después de Giordano Bruno. Este cambio traducía, en el campo de la pintura, una conmoción ligada a la conquista del globo, a través de la cual el hombre occidental modificaba la representación que se hacía del mundo. Del siglo XIII a la época clásica europea, no sólo la representación pictórica sustituyó a la simbolización, sino también la historia a la crónica, la acción a la oración, el drama al misterio, la novela al relato, la

polifonía a la monodía y la teoría científica al mito. Y sin embargo, es precisamente la estructura del mito judeocristiano lo que hizo posible la ciencia moderna, ya que la ciencia occidental se basa en la doctrina monástica de un universo ordenado, creado por un Dios que permanece al margen de la naturaleza y la gobierna mediante leyes accesibles a la razón de los hombres.

Posiblemente sea una exigencia de la mente humana el disponer de una representación del mundo unificada y coherente. Su carencia da lugar a la ansiedad y a la esquizofrenia. Habrá que reconocer que en términos de unidad y coherencia, la explicación mítica supera, y con mucho, a la científica. Y es que la ciencia no pretende, de entrada, aportar una explicación completa y definitiva del universo. Se centra más bien en aspectos puntuales. Opera según una experimentación detallada de los fenómenos que consigue delimitar y definir. Le basta con respuestas parciales y provisionales. Por el contrario, los demás sistemas de explicación, ya sean mágicos, míticos o religiosos, lo engloban todo. Se aplican a todos los dominios. Responden a todas las preguntas. Dan cuenta del origen, del presente e incluso del devenir del Universo. Se puede rechazar el tipo de explicación que ofrecen los mitos o la magia, pero no puede negarse su unidad y coherencia, puesto que, sin la menor vacilación, responden a cualquier pregunta y resuelven cualquier dificultad con un sencillo y único argumento a priori.

A primera vista, la ciencia parece menos ambiciosa que el mito, por el tipo de preguntas que se plantea y de respuestas que proporciona. De hecho, los comienzos de la ciencia moderna se remontan al momento en que las preguntas generales fueron sustituidas por preguntas limitadas, es decir cuando en vez de preguntar: “¿Cómo se creó el Universo?, ¿En qué consiste la materia?, ¿Cuál es la esencia de la vida?”, aparecen preguntas del tipo: “¿Cómo cae una piedra?, ¿Cómo avanza el agua por un tubo?, ¿Cuál es el recorrido de la sangre por el interior del cuerpo?”. Este cambio produjo un resultado sorprendente. Mientras que para las preguntas generales sólo se encontraban respuestas limitadas, las preguntas limitadas empezaron a sugerir respuestas cada vez más generales. Lo mismo ocurre con la ciencia en la actualidad. La capacidad de juzgar qué problemas han madurado para proceder a su análisis, de decidir cuándo es posible explorar un nuevo territorio, de reconsiderar temas dados por resueltos o insolubles, todo ello constituye una de las mayores virtudes de un científico. La creatividad en el dominio de la ciencia corresponde a menudo a la seguridad de juicio en ese campo. Es muy frecuente que el joven científico sin experiencia, o sin conocimientos, no se dé por satisfecho con problemas restringidos, sino que sólo desee abordar problemas que considera de alcance general.

Por su forma de proceder, el método científico sólo podía llevar a una fragmentación de la representación del mundo. Cada rama de la ciencia posee unas técnicas y un lenguaje propios. Estudia un campo concreto no necesariamente ligado a otros próximos. Así el conocimiento científico aparece formado por islas separadas. A menudo, a lo largo de la historia de las ciencias, algunos progresos importantes se deben a generalizaciones nuevas que permiten unificar lo que hasta entonces parecía constituir campos separados. De esta forma se unificaron la termodinámica y la mecánica, gracias a la mecánica estadística; lo mismo ocurrió con la óptica y el electromagnetismo gracias a la teoría de Maxwell de los campos magnéticos; o incluso con la química y la física atómica, unificada por la mecánica cuántica. Sin embargo, pese a todas las generalizaciones, en el conocimiento científico existen amplias lagunas que corren el riesgo de perdurar por mucho tiempo.

En su esfuerzo por cumplir su función y poner orden al caos del mundo, los mitos y las teorías científicas operan según un mismo principio. Se trata siempre de

explicar el mundo visible mediante fuerzas invisibles, de articular lo que se observa con lo que se imagina. Los rayos de tormenta pueden considerarse como la expresión de la cólera de Zeus o como un fenómeno electrostático. En una enfermedad puede verse el efecto de un conjuro dañino o de una infección microbiana. Pero, en cualquier caso, explicar un fenómeno equivale a considerarlo como el efecto visible de una causa oculta, ligada al conjunto de fuerzas invisibles que parecen regir el mundo.

Ya sea mítica o científica, la representación del mundo que construye el hombre siempre deja un amplio margen a su imaginación. Pues, contrariamente a lo que se suele creer, el proceso científico no sólo consiste en observar, en acumular datos experimentales para deducir de ellos una teoría. Se puede perfectamente estar examinando durante años un objeto sin que ello redunde jamás en una observación de interés científico. Para aportar una observación que posea algún valor científico es necesario, de entrada, tener una cierta idea de lo que hay que observar. Es preciso haber tomado una decisión acerca de lo que es posible. La ciencia evoluciona a menudo porque de repente se aclara un aspecto todavía desconocido de las cosas, y no siempre como consecuencia de la aparición de nueva instrumentación, sino gracias a una nueva manera de examinar los objetos, de darles un nuevo enfoque; enfoque que está necesariamente guiado por una cierta idea de lo que puede ser la “realidad”. Siempre conlleva una cierta concepción de lo desconocido, de esa zona situada algo más allá de lo que la lógica y la experiencia autorizan a creer. Según palabras de Peter Medawar<sup>(7)</sup>, la investigación científica comienza por la invención de un mundo posible, o de un fragmento de un mundo posible.

Así comienza también el pensamiento mítico. Pero este último se detiene ahí. Después de construir lo que considera no sólo el mejor de los mundos sino el único posible, inserta sin dificultad la realidad en el marco que acaba de crear. Cada hecho, cada acontecimiento se interpreta como un signo emitido por las fuerzas que gobiernan el mundo y, por ello mismo, demuestra su existencia y su importancia. Para el pensamiento científico, en cambio, la imaginación no es más que un elemento del juego. En cada etapa, necesita exponerse a la crítica y a la experiencia para limitar lo que es mera ensoñación en la imagen del mundo que elabora. Para la ciencia hay muchos mundos posibles, pero el único interesante es el que existe y que, desde hace mucho tiempo, ha demostrado funcionar. El proceso científico establece una continua confrontación entre lo que podría ser y lo que es. Es el medio de construir una representación del mundo cada vez más próxima de lo que llamamos “la realidad”.

Una de las funciones principales de los mitos ha sido siempre la de ayudar a los seres humanos a soportar la angustia y lo absurdo de su condición. Tratan de dar un sentido a la visión desconcertante que el hombre configura a partir de su experiencia, infundirle confianza en la vida pese a las vicisitudes, el sufrimiento y la miseria. Por tanto, la visión del mundo que proponen los mitos está estrechamente ligada a la vida cotidiana y a las emociones humanas. Además, en una cultura dada, un mito que se repite bajo la misma forma, con las mismas palabras, de generación en generación, no es únicamente una historia de la que pueden sacarse conclusiones acerca del mundo. Un mito tiene un contenido moral. Posee un significado propio. Transmite valores. En un mito, los seres humanos encuentran su ley, en el sentido más elevado de la palabra, sin tener que buscarla siquiera. Incluso buscándola, no encuentran ninguna ley ni en la conservación de la masa y de la energía, ni en el “caldo primitivo” de la evolución. De hecho, el proceso científico supone un esfuerzo para eliminar cualquier emoción de la investigación y del conocimiento. El científico intenta sustraerse al mundo que intenta comprender. Pretende situarse en un segundo plano, en la situación de un espectador que no perteneciese al mundo que está estudiando. Mediante esa estratagema, el

científico espera analizar lo que considera “el mundo real que lo rodea”. Ese *pretendido* “mundo objetivo” queda también desprovisto de espíritu y alma, de alegría y de tristeza, de deseo y esperanza. En definitiva, ese mundo científico u “objetivo” se convierte en algo totalmente disociado del mundo de nuestra experiencia cotidiana al que estamos acostumbrados. Esta actitud subyace en toda la red de conocimientos tejida por la ciencia occidental a partir del Renacimiento. Tan sólo gracias a la llegada de la microfísica se ha difuminado un tanto la frontera entre el observador y el observado. El mundo objetivo como parecía anteriormente.



En el campo de las ciencias de la naturaleza, el hombre a tenido que luchar continuamente para sacudirse el antropomorfismo, para evitar atribuir cualidades humanas a las más variadas entidades. En concreto, la finalidad que caracteriza muchas actividades humanas ha servido durante mucho tiempo como modelo universal para explicar todo lo que, en la naturaleza, parece orientado hacia un fin. Ese es especialmente el caso de los seres vivos, cuyas estructuras, propiedades y comportamiento dan toda la impresión de responder a un plan o designio. Así, el mundo de los seres vivos ha constituido el blanco favorito de las causas finales. De hecho, la “prueba” principal de la existencia de Dios la constituyó durante mucho tiempo el llamado argumento de la “intención” (o del “modelo”). Este argumento fue desarrollado especialmente por William Paley en su *Teología natural*<sup>(8)</sup>, publicada sólo unos años antes que El origen de las especies, y consiste en lo siguiente. Cuando vemos un reloj, no dudamos que lo ha fabricado un relojero. Igualmente, si consideramos un organismo complejo, con una evidente “finalidad” por parte de todos sus órganos, ¿cómo puede no concluirse que ha sido producido por la voluntad de un Creador? Pues sería del todo absurdo, según Paley, suponer que el ojo de un mamífero, por ejemplo, con toda la precisión de su óptica y su geometría, hubiese podido formarse únicamente por azar.

Existen dos niveles de explicación, muy distintos, pero demasiado a menudo confundidos, para dar cuenta de esa aparente “finalidad” en el mundo de los seres vivos. El primero corresponde al individuo, al organismo, la mayoría de cuyas propiedades, tanto de estructura como de funciones o de comportamiento, parecen efectivamente orientadas hacia un objetivo. Así ocurre, por ejemplo, con las distintas fases de la reproducción, del desarrollo embrionario, de la respiración, de la digestión, de la búsqueda de alimento, de la huida ante el depredador, de la migración, etc. Este tipo de designio preestablecido, que se manifiesta en cada ser vivo, no se produce en cambio en el mundo de los seres inanimados. De ahí que durante mucho tiempo hubiera que recurrir a un agente particular, a una fuerza vital al margen de las leyes de la física. Hasta el presente siglo no ha desaparecido la oposición entre, por un lado, la interpretación mecanicista de las actividades de un ser vivo y, por otro, sus propiedades y su comportamiento. En particular, la paradoja quedó resuelta cuando la biología molecular tomó de la teoría de la información el concepto y el término de “programa” para describir la información genética contenida en un organismo. Según ese punto de vista, los cromosomas de un óvulo fecundado contienen, impresos en el ácido desoxirribonucleico (ADN), los planes que rigen el desarrollo del futuro organismo, sus actividades y su comportamiento.

El segundo nivel de explicación no corresponde al organismo individual, sino al conjunto del mundo de los seres vivos. Con ello Darwin destruyó la idea de creación

particular, la idea de que cada especie fue concebida y realizada individualmente por un creador. Contra el argumento de la “intención”, Darwin expuso que la combinación de ciertos mecanismos sencillos puede simular un diseño preestablecido. Para ello tienen que cumplirse tres condiciones: es necesario que varíen las estructuras; que esas variaciones sean hereditarias; que la reproducción de ciertas variantes se vea favorecida por las condiciones del medio. En la época de Darwin, los mecanismos subyacentes a la herencia eran todavía desconocidos. Desde entonces, la genética clásica, y más tarde la biología molecular, han proporcionado a la reproducción y la variabilidad unas bases genéticas y bioquímicas. Los biólogos fueron elaborando paulatinamente una representación razonable, bien todavía incompleta, de lo que se considera el motor principal de la evolución de los seres vivos: la selección natural.

La selección natural es la resultante de dos restricciones o condicionamientos inherentes a todo ser vivo: 1) la exigencia de reproducción, satisfecha a través de mecanismos genéticos capaces de poner en marcha un dispositivo de mutaciones, recombinaciones y sexualidad cuidadosamente ajustado para producir organismos semejantes, aunque no idénticos, a sus progenitores; 2) la exigencia de una permanente interacción con el medio, ya que los seres vivos constituyen lo que, en termodinámica, se llaman “sistemas abiertos”: sólo pueden subsistir gracias a un flujo constante de materia, energía e información. El primero de dichos factores produce variaciones aleatorias y origina poblaciones formadas por individuos diferenciados. La combinación de los dos factores conlleva una reproducción diferencial de los individuos y exige, por lo tanto, que las poblaciones evolucionen progresivamente en función de las circunstancias externas, del comportamiento, de entornos ecológicos nuevos, etc. Contrariamente a lo que suele creerse, la selección natural no actúa sólo como un tamiz capaz de eliminar las mutaciones más perjudiciales y de favorecer la difusión de las mutaciones benéficas. A largo plazo integra las mutaciones; las incluye en conjuntos coherentes desde el punto de vista de la capacidad de adaptación y ajustados a lo largo de millones de años y millones de generaciones, en respuesta al desafío del entorno. La selección natural ofrece una dirección al cambio, orienta el azar, elabora lenta y progresivamente estructuras cada vez más complejas, órganos nuevos, especies nuevas. La concepción darwinista tiene, por tanto, una consecuencia ineludible: el mundo actual de los seres vivos, tal como aparece ante nosotros, sólo es uno de los muchos posibles. Su estructura actual es el resultado de la historia de la Tierra. Hubiese podido ser muy diferente. ¡Incluso podría no haber existido!



La oposición entre creación y selección natural puede servir como ejemplo ilustrativo de la controversia acerca de lo que Joshua Lederberg denominó mecanismos “instructivos” o “didácticos”. Mientras que el modelo de Darwin es selectivo, la teoría teísta puede considerarse didáctica. Pues el Creador actúa como un escultor que enseña a la materia la forma que debe adoptar; o como un informático que elabora un programa y enseña al ordenador las operaciones que debe efectuar. Todas las mitologías utilizan el modelo humano de enseñanza y de creación. Todas presentan una actitud antropomórfica y didáctica. La importancia de la solución de Darwin consistió en explicar mediante un mecanismo selectivo lo que en primera instancia parece un sistema instructivo.

La controversia entre selección e instrucción se extendió al conjunto de la biología. Su aspecto más conocido se refiere a la herencia de los caracteres adquiridos, a

la idea de que los seres vivos reciben de su medio, de la repetición de ciertos actos, unas informaciones que se transforman en hereditarias y, por tanto, se transmiten de generación en generación. De acuerdo con este enfoque lamarquiano de la herencia, la memoria genética, al igual que la memoria mental, funciona mediante el aprendizaje. La actitud didáctica deriva del hecho de atribuir a los procesos biológicos una serie de propiedades que pertenecen a los procesos mentales de los seres humanos. De ahí nuestra irresistible tendencia a creer en una teoría instructiva o lamarquiana de la herencia y de la evolución. Ya la Biblia era lamarquiana, como pone de manifiesto un magnífico experimento realizado por Jacob. Para no confundir sus ovejas con las de su suegro Labán, decidió hacerse con un rebaño de animales listados y moteados. Arrancó unas ramas de álamo, pelo unas cintas de corteza y las colocó en el lugar donde se acoplaban los animales, junto al río. “Se acoplaron delante de las cintas y parieron animales listados y moteados.” A lo largo de los siglos se han repetido los experimentos de ese tipo hasta la saciedad, pero nunca con resultados tan brillantes.

Hasta el siglo XIX ni siquiera se puso en cuestión la naturaleza didáctica de la herencia. El primer experimento en sentido opuesto lo llevó a cabo August Weismann hacia 1880 para demostrar la independencia del soma y del germen<sup>(10)</sup>. Para probar que las células germinales quedan al margen de las vicisitudes del cuerpo, Weismann trabajaba con generaciones sucesivas de ratas, a las que cortaba la cola al nacer. Después de repetir el proceso durante más de veinte generaciones, Weismann quedó satisfecho al comprobar que todas las ratas recién nacidas tenían cola. Hasta principios de siglo no quedó descartada definitivamente la herencia de los caracteres adquiridos, al aparecer incompatible con las propiedades de los genes y de las mutaciones. Desde entonces, cada vez que se ha preparado cuidadosamente y se ha realizado con rigor un experimento para evaluar la hipótesis didáctica, se ha puesto de manifiesto su falsedad. Para la biología moderna, ningún mecanismo molecular es capaz de imprimir nada en el ADN, es decir, no es posible sin los vericuetos de la selección natural, de las instrucciones procedentes del medio. No es que un mecanismo de ese tipo sea teóricamente imposible; sencillamente no existe.

La herencia de los caracteres adquiridos ha desaparecido, por tanto, de lo que la biología considera en la actualidad el mundo real. Y, sin embargo, esta idea ha resultado muy difícil de superar, no sólo en la mente de los profanos, sino también en la ciertos biólogos. Por mucho tiempo se fueron realizando, y todavía se siguen haciendo, experiencias para salvarla. La herencia de los caracteres adquiridos se ha convertido en el campo predilecto de quienes parecen confundir sus deseos con la realidad. A este respecto son realmente ejemplares el caso Lysenko, así como una serie de falsificaciones, la más importante de las cuales la describió detalladamente Arthur Koestler en su novela *El abrazo del sapo*. En el mundo científico, la regla consiste en no hacer trampas: ni con las ideas, ni con los hechos. Es un compromiso tanto lógico como moral. Simplemente, el que hace trampas yerra el tiro. No hace más que garantizar su derrota. Se suicida. De hecho, los fraudes científicos son sorprendentes e interesantes al mismo tiempo. Sorprendentes porque en lo relativo a cuestiones importantes, resulta infantil pensar que una superchería puede pasar inadvertida durante mucho tiempo; hace falta que el tramposo esté absolutamente convencido no sólo de la posibilidad sino también de la realidad del resultado que cree demostrar con su fraude; interesantes, a su vez, porque los fraudes van desde el trucaje deliberado de los resultados hasta lo que no es más que una ligera desviación, a veces incluso inconsciente, del comportamiento normal del científico. También afectan, por tanto, a aspectos psicológicos e ideológicos de la ciencia y los científicos. Pueden ayudar así a comprender ciertas ideas preconcebidas que, en un período dado, obstaculizan el

desarrollo científico. En este sentido, los fraudes forman parte de la historia de las ciencias.

También se han invocado hipótesis didácticas para explicar las propiedades específicas de ciertas proteínas. Muchas bacterias, por ejemplo, pueden utilizar una amplia gama de azúcares. Pero lo más frecuente es que no desarrollen la actividad enzimática necesaria para metabolizar un azúcar concreto si su medio de cultivo no contiene ese azúcar. Durante mucho tiempo se creyó que el azúcar aportaba información a la bacteria; que enseñaba, para entendernos, a la proteína la forma que debía adoptar para poder desarrollar esa actividad enzimática concreta. Pero en cuanto a bacterias llegaron a ser objeto del análisis genético, esa hipótesis didáctica resultó ser falsa. El azúcar actúa simplemente como una señal para iniciar la síntesis de la proteína, o sea, para poner en marcha una serie de procesos regulados por los genes hasta el más mínimo detalle. Del repertorio genético escoge y activa el gen que codifica esa proteína. Pero la estructura y la actividad de la proteína permanecen completamente independientes del azúcar. El mecanismo es totalmente selectivo.

Lo mismo ocurrió con el estudio de los anticuerpos. Estas moléculas de proteínas son generadas por los vertebrados a los que se suministra un antígeno, es decir una estructura molecular que el cuerpo no considera como constitutiva sino como extraña a él. Frente a la irrupción de un antígeno, el organismo reacciona específicamente con la síntesis del anticuerpo correspondiente. Así, un mamífero puede producir de diez a cien millones de tipos distintos de anticuerpos, cada uno de ellos capaz de “reconocer” una estructura molecular determinada, incluso sin haberla visto nunca antes. Debido a ese elevado número y a la imposibilidad de disponer en los cromosomas del gen específico para codificar cada posible anticuerpo, el sistema inmunológico ha sido durante mucho tiempo una especie de “tierra de promisión” de las hipótesis didácticas. Se creía que el antígeno enseñaba a la molécula del anticuerpo la configuración que debía adoptar para fijarse en él. En la actualidad se sabe con certeza que el sistema no funciona así, sino según un mecanismo más sutil. Por muy raro que parezca, un antígeno, una respuesta inmunológica, siempre corresponde a la activación de una información genética ya presente en las células linfoides y no a una especie de enseñanza que recibiría de la estructura de molecular del antígeno. La producción de anticuerpos no es un proceso lamarquiano, sino darwiniano; interviene un mecanismo de selectivo y no un mecanismo didáctico.

Hay un campo en el que todavía subsiste la controversia entre instrucción y selección: el sistema nervioso. Poco se sabe aún, sobre la forma en que se establecen las sinapsis, es decir, las conexiones entre las neuronas, durante el desarrollo del embrión; o sobre el papel, directo o indirecto desempeñado por los genes en el asentamiento o “cableado” [*wiring*] del sistema nervioso; o también sobre los procesos de aprendizaje. Como en el sistema inmunológico, el número de sinapsis formadas en el sistema nervioso de un mamífero es enorme. No parece posible que exista, en la célula germinal, un gen concreto para determinar cada sinapsis. Estas consideraciones han llevado a explicar el establecimiento de las sinapsis mediante mecanismos no genéticos y muy flexibles. Por definición, el cerebro es la sede de lo didáctico. En ese terreno, las teorías selectivas son muy mal recibidas, en general, a causa del argumento inapelable según el cual, por ejemplo, “La vida es sueño no puede ser “precableada”[prewired] en la cabeza del niño que la estudia”. Sin embargo, aquí no se trata de palabras o de ideas, sino de sinapsis. Hace ya unas cuantas décadas, se sugirió que durante el desarrollo del embrión podía establecerse un exceso de sinapsis y a su combinación en circuitos funcionales, mientras que irían desapareciendo las sinapsis no utilizadas. Probablemente

habrá que esperar bastante tiempo antes de poder precisar la naturaleza didáctica o selectiva del proceso de aprendizaje.



Inicialmente la teoría de la evolución se basaba en datos morfológicos, embriológicos y paleontológicos. En nuestro siglo se ha visto reforzada por una serie de resultados obtenidos gracias a la genética, la bioquímica y la biología molecular. Toda información aportada por esas disciplinas converge actualmente en lo que suele llamarse neodarwinismo. Las huellas de la evolución aparecen hoy en todas y cada una de nuestras células, de nuestras moléculas. Resulta virtualmente imposible en la actualidad explicar la enorme cantidad de datos acumulados desde principios de siglo sin una teoría muy parecida al neodarwinismo. La probabilidad de que esa teoría *en su conjunto* sea refutada empieza a aproximarse mucho a cero.

Sin embargo estamos muy lejos de conocer su versión definitiva, especialmente en lo relativo a los mecanismos de la evolución. La genética considera los organismos desde dos niveles distintos. Uno se refiere a los caracteres visibles, las formas, las funciones, el comportamiento, en definitiva, lo que se llama *fenotipos*. El otro nivel es el de las estructuras ocultas, el estado de los genes, lo que se llama *genotipos*. Se trata de dos mundos muy distintos. En el primero se trata de describir los organismos reales; en el segundo, de explicar sus propiedades mediante estructuras genéticas posibles. Y si bien los genes controlan los caracteres, el vínculo entre esos dos mundos aún no ha podido precisarse verdaderamente, excepto en algunos rasgos sencillos. Tan sólo en algunos mecanismos, como los grupos sanguíneos o las deficiencias enzimáticas, se ha podido establecer una correlación entre un gen determinado y su manifestación, entre genotipo y fenotipo. En la mayor parte de los casos, la situación es mucho más compleja. A menudo un mismo gen interviene en la expresión de numerosos caracteres, y un mismo carácter puede ser controlado por numerosos genes que no sabemos identificar. Además, también estamos muy lejos de conocer todos los mecanismos que subyacen a la evolución, como demuestran, por ejemplo, ciertas observaciones recientes acerca de la estructura de los cromosomas. En la actualidad casi todos los biólogos admiten el neodarwinismo. Pero también puede examinarse la evolución en términos de organismos, o de moléculas, o de abstracciones estadísticas. Hay muchas maneras de considerar la evolución, su ritmo y mecanismo.

El mecanismo que Darwin contrapropuso al argumento del “modelo” debido a Paley fue la adaptación. Este concepto se sitúa en el centro de toda representación del mundo vivo basada en la evolución. Está indisolublemente ligado a las teorías sobre el origen de la vida. Se supone que la vida empezó a partir del “caldo primitivo”, producto de una evolución química. Algún complejo molecular debió ser capaz de utilizar ciertos ingredientes de esa solución orgánica para reproducirse. Pero la reproducción no podía ser muy fiel. Dejaba amplio margen para cualquier posibilidad de variación. Desde entonces, podía ponerse en funcionamiento la selección natural. Estos organismos primitivos incrementaron progresivamente la eficacia de su reproducción y empezaron a diversificarse. Una rama, a la que llamamos vegetales, consiguió alimentarse directamente de la luz solar. Otra rama, a la que llamamos animales, consiguió utilizar las propiedades bioquímicas de los vegetales, bien alimentándose de ellos, bien alimentándose de otros animales que a su vez comen vegetales. Las dos ramas fueron encontrando modos de vida constantemente renovados para dar respuesta a medios continuamente diversificados. Aparecieron subramas, y luego subsubramas, cada una de

ellas capaz de vivir en un entorno concreto: en el mar, en la tierra, en el aire, en las regiones polares, en las fuentes calientes, en el interior de otros organismos, etc. De esa progresiva ramificación a lo largo de miles de millones de años deriva la diversidad y la adaptación tan desconcertante del mundo de los seres vivos en nuestros días.

El mecanismo que Darwin derivó de la lectura de Malthus concede la primacía a los individuos que, mediante su fisiología o su comportamiento, utilizan mejor los recursos disponibles para reproducirse. Vincula el sistema genético y el medio de tal forma que éste modifica aquel según un proceso que, en definitiva, se asemeja al lamarquismo. La adaptación es el resultado de una competencia entre individuos, en el seno de una especie o entre varias especies. Representa un dispositivo automático para utilizar las oportunidades genéticas y para dirigir el azar hacia vías compatibles con la vida en un medio dado. Para muchos biólogos, cada organismo, cada célula, cada molécula han sido moldeados hasta en su más nimio detalle por un proceso de adaptación que ha proseguido incesantemente a lo largo de millones de años y millones de generaciones.

Esta fe en la selección natural y en su poder absoluto ha dominado el pensamiento evolucionista de los cincuenta últimos años. Recientemente ha sido criticada por algunos estudiosos de la genética de poblaciones, quienes se niegan a admitir que cada organismo pueda ser modelado hasta el más pequeño detalle, por la selección natural. Como subrayó hace quince años George C. Williams<sup>(11)</sup>, la adaptación es un concepto oneroso que sólo debe utilizarse en caso necesario. Su utilización indiscriminada puede llevar a considerar que el mundo de los seres vivos tiene la misma perfección que la atribuida en otro tiempo a los efectos de la creación divina. El procedimiento de diseccionar los organismos en caracteres discretos, en estructuras tales que cada una de ellas cumple óptimamente una función, da como resultado la aparición de lo que S. Gould y R. Lewontin han llamado un “universo panglossiano”<sup>(12)</sup>. En efecto, al conocer la noticia de que un enorme terremoto había acabado con unas cincuenta mil vidas en Lisboa, el doctor Pangloss explicó a su alumno Candide: “Es lo mejor que podía suceder, puesto que si hay un volcán en Lisboa no puede estar en otro sitio. Porque es imposible que las cosas no estén donde están, pues todo está bien”<sup>(13)</sup>.

De hecho, la adaptación no es un componente necesario de la evolución. Para que una población evolucione, basta con que el acervo genético común de esa población varíe, bien de forma brusca, bien progresivamente a lo largo de generaciones. Una variación estadística tal en la supervivencia relativa de los diferentes genes no implica necesariamente una adaptación. Puede limitarse sólo a reflejar los efectos del azar en una etapa cualquiera de la reproducción. Obviamente, el azar por sí sólo no explica por qué los animales terrestres poseen patas, las aves alas y los peces aletas. Pero junto a la selección natural hay una serie de mecanismos, hoy conocidos, que intervienen en la evolución: por ejemplo, la deriva genética, la fijación de genes al azar, la selección indirecta que conlleva el ligamento entre los genes situados en un mismo cromosoma[*linkage*], el crecimiento diferencial de los órganos, etc. Muchos de estos factores contribuyen a difuminar los efectos de la selección natural. Pueden incluso generar estructuras que no sirven para nada. El problema consiste en precisar el peso relativo de todos los procesos en la evolución.

Las posibilidades de cambio de estructuras y de funciones están limitadas por una serie de condicionamientos. Son especialmente importantes los impuestos por el plan general del cuerpo propio de especies relacionadas, por las propiedades mecánicas de sus materiales constitutivos, y sobre todos por las reglas que rigen el desarrollo del embrión. En efecto, durante el desarrollo del embrión se expresan las instrucciones contenidas en el programa genético del organismo y el genotipo se convierte en

fenotipo. Fundamentalmente, son las exigencias del desarrollo las que escogen entre el conjunto de genotipos posibles, dando los fenotipos reales. Cuando era niño, recuerdo haber preguntado algunas veces por qué los seres humanos no tienen dos bocas: una con gusto, reservada para las cosas agradables de comer, y otra, sin gusto para lo que no es agradable; o también por qué los seres humanos no llevan sobre la cabeza un sombrero de clorofila en lugar de cabellera, de manera que no tuviésemos que dedicar tantos esfuerzos y tantotiempo a buscar alimentos. De hecho, la respuesta es bastante sencilla. Es posible que esas características hiciesen la vida más agradable o más fácil. Pero el plan de organización de nuestro cuerpo es idéntico al de nuestros antepasados vertebrados; y esos antepasados sólo tenían una boca y no disponían de clorofila. En lo que a organismos se refiere, no todo es posible.



Ya debería estar bastante claro que no podrá explicarse el universo con todo detalle mediante una única fórmula o una única teoría. Sin embargo, la mente humana tiene una necesidad tal de unidad y de coherencia que cualquier teoría de cierta entidad corre el riesgo de ser utilizada de forma abusiva y de caer en el mito. Para abarcar un amplio espectro, una teoría debe ser a la vez suficientemente vigorosa como para explicar acontecimientos diversos y suficientemente flexible como para poder aplicarse a circunstancias diversas. Pero un exceso de flexibilidad puede transformar ese vigor en debilidad. Toda teoría que explica demasiadas cosas termina no explicando nada. Al ser utilizada indiscriminadamente, pierde cualquier utilidad y se convierte en un discurso vacío. Los fanáticos y los vulgarizadores, en particular, no siempre saben detectar esa sutil frontera que existe entre la teoría heurística y una creencia estéril, creencia que en lugar de describir el mundo puede aplicarse a todos los mundos posibles.

Los abusos de esa índole son los que han deformado esos “edificios” conceptuales debidos especialmente a Marx y Freud. Este último logró convencerse a sí mismo, así como a un importante sector del mundo occidental, del papel que desempeñan las fuerzas inconscientes en los asuntos humanos. A partir de ahí, él, y más todavía sus discípulos, se esforzaron desesperadamente en racionalizar lo irracional, en encerrarlo en una red infranqueable de causas y efectos. Gracias a un sorprendente arsenal de complejos, interpretaciones de sueños, transferencias, sublimaciones, etc., se hizo posible explicar cualquier aspecto visible del comportamiento humano a través de algún trastorno oculto de la vida psíquica. En cuanto a Marx, demostró la importancia de lo que llamó “materialismo histórico” en la evolución de las sociedades humanas. También aquí, sus discípulos sintieron la necesidad de explicar con ese mismo argumento universal el ruido y la furia de la historia. Cada detalle de la historia de la humanidad se convierte así en efecto directo de alguna causa económica.

Una teoría tan vigorosa como la de Darwin no iba a poder sustraerse a un uso abusivo. La idea de la adaptación no sólo permitía explicar cualquier detalle estructural en cualquier organismo sino que, ante el éxito alcanzado por la idea de la selección natural en tanto que mecanismo explicativo de la evolución del mundo de los seres vivos, resultaba tentador generalizar el argumento, remodelarlo, hacer de él un modelo universal capaz de explicar cualquier cambio acaecido en el mundo. Así, se utilizaron sistemas de selección parecidos para describir cualquier tipo de evolución: cósmica,

química, cultural, ideológica, social, etc. Pero esos intentos estaban condenados de antemano al fracaso. La selección natural representa el resultado de constricciones específicas impuestas a cada ser vivo. Se trata, por tanto, de un mecanismo ajustado a un nivel concreto de complejidad. Y, a cada nivel, las reglas del juego son distintas. A cada nivel hay que buscar nuevos principios.

Entre todas las teorías científicas, la de la evolución ocupa una situación particular; no sólo porque, en determinados aspectos, resulta difícil de estudiar experimentalmente y suscita interpretaciones diversas, sino también porque da cuenta del origen del mundo de los seres vivos, de su historia, de su estado presente. En ese sentido, adquiere la categoría de un mito, o sea, de una historia que los orígenes y, por ende, explica el mundo de los seres vivos y el lugar que en él le corresponde al hombre. Como hemos dicho más arriba, parece ser que esa exigencia de mitos, incluso de mitos cosmológicos, es una característica común a cualquier cultura, de cualquier sociedad. Bien podría ser que los mitos contribuyan a dar cohesión a un grupo humano a través de una creencia compartida en un origen y una ascendencia comunes. Posiblemente sea esa creencia la que permita al grupo diferenciarse de los “demás” y definir su propia identidad. Aunque la evolución del hombre se explica a menudo como una contraposición entre poblaciones “civilizadas” y “primitivas”, la unidad de la humanidad, en tanto que especie, no impide que la teoría de la evolución desempeñe ese papel (excepto en el caso de que algún día los seres humanos deseen diferenciarse de los marcianos). Además, un mito contiene una especie de explicación universal que da un sentido y unos valores morales a la vida humana. Nada parece indicar que la teoría de la evolución pueda desempeñar ese papel a pesar de los numerosos intentos.

En un universo creados por Dios, el mundo y sus habitantes eran necesariamente como debían ser. Podría decirse que la naturaleza estaba moldeada por la moral. Tras aparecer la teoría de la evolución, se hizo tentador invertir la situación y extraer una moral del conocimiento de la naturaleza. Desde su aparición, el darwinismo se ha visto mezclado con la ideología. Desde el principio, la evolución por selección natural se utilizó como confirmación de las doctrinas más dispares, cuando no opuestas. Dado que los procesos naturales carecen de cualquier valor moral, también se hubiese podido pintarla de blanco o de negro y proclamar su acuerdo con cualquier tesis. Para Marx y Engels, la evolución de las especies iba en el mismo sentido que la historia de las sociedades. Para las ideologías capitalistas y colonialistas, el darwinismo era una coartada científica para justificar las desigualdades sociales y las diversas formas de racismo. Desde mediados del siglo XIX, se llevan a cabo intentos –y la sociobiología es el campo más reciente en el que ello ha ocurrido- para crear una moral basada en consideraciones etológico-evolucionistas. De hecho, la capacidad de adoptar un código moral puede considerarse como un aspecto del comportamiento humano. Por tanto, debe haber sido modelada por las fuerzas de la selección, al igual que la facultad de hablar, por ejemplo, esa capacidad que Noam Chomsky califica de “estructura profunda”<sup>(14)</sup>. En ese sentido, la tarea de los biólogos consiste en explicar cómo los seres humanos, a lo largo de la evolución, han ido adquiriendo la *capacidad* de tener creencias morales. Sin embargo, eso no puede aplicarse en absoluto al *contenido* de esas creencias. Una cosa no es “buena” por el solo hecho de ser “natural”. Aun cuando existieran diferencias de temperamento y de capacidad intelectual entre los dos sexos – lo cual tendría que demostrarse-, no por ello sería “justo” o “bueno” negar a la mujer ciertos derechos y determinados papeles en la sociedad. Es tan absurdo buscar en la evolución una explicación de los códigos morales como buscar una explicación de la poesía o de las matemáticas. Y nadie a sugerido nunca una teoría biológica de la física.

De hecho, pretender fundamentar la ética en las ciencias de la naturaleza equivale a confundir lo que Kant consideraba como dos categorías muy distintas. Esta “biologización”, si se nos permite el término, es inducida ideológicamente por el cientifismo, por la convicción de que los métodos y los conceptos de esta ciencia podrán explicar algún día las actividades humanas hasta el menor detalle. Ese tipo de creencia subyace a la terminología un tanto equívoca utilizada por muchos sociobiólogos, así como suposiciones totalmente injustificadas o a sus extrapolaciones del animal al hombre. Esa misma confusión entre ciencia y ética aparece también en la actitud opuesta de algunos científicos, consistente en rechazar ciertos aspectos bien fundamentados de la sociobiología con el pretexto de que esos argumentos podrían utilizarse algún día como sostén de alguna política social que no comparten. Como si la teoría de la evolución no fuese simplemente una hipótesis que hay que contrastar y ajustar continuamente. Como si simbolizara una serie de prejuicios, temores y esperanzas relativos a nuestra sociedad.

Todas estas controversias plantean preguntas muy serias, por ejemplo las siguientes: ¿son capaces los biólogos de elaborar una teoría de la evolución verdaderamente exenta de prejuicios ideológicos?; ¿puede servir una historia de los orígenes como teoría científica y como mito a la vez?; ¿puede una sociedad definir un juego de valores directamente, es decir, sin tener que recurrir a factores externos, como Dios o la Historia, creados por el hombre para imponerlos a su propia existencia?

## REFERENCIAS

- (1) G. L. Buffon, *Oeuvres complètes*, vol. 3, *Histoire des animaux* (Imprimeries Royales, París, 1774).
- (2) A. Weismann, “La reproduction sexuelle et sa signification pour la théorie de la sélection naturelle”, en *Essais sur l'hérédité* (C. Reinwald e Cie, París, 1892).
- (3) R. A. Fisher. *The Genetical Theory of Natural Selection* (Oxford University Press, Oxford 1930).
- (4) H. J. Muller, “Some Genetic Aspects of Sex”, *Amer. Naturalist*, 66 (1932) : 118-138.
- (5) G. C. Williams, *Sex and Evolution* (Princeton University Press, Princeton 1975).
- (6) J. Maynard Smith, *The Evolution of Sex* (Cambridge University Press, Cambridge 1978).
- (7) P. B. Medawar, *The Hope of Progress* (Doubleday, Nueva York, 1973).
- (8) W. Paley, *Natural Theology*, vol. 1 (Charles Knight, Londres, 1836).
- (9) J. Lederberg, *J. Cell. Comp. Physiol.*, 52 (1958, supl. 1): 398.
- (10) A. Weismann, “La prétendue transmission héréditaire des mutilations”, *Essais sur l'hérédité* (C. Reinwald et Cie, París, 1892).
- (11) G. C. Williams, *Adaptation and Natural Selection* (Princeton University Press, Princeton, 1966).
- (12) S. J. Gould y R. C. Lewontin, “The Spandrels of San Marc and the Panglossian Paradigm: A Critique o the Adaptationist Programme”, *Proc. R. Soc. London*, B 205 (1979): 581-598.
- (13) Voltaire, *Candide*, en *Romans et contes* (Gallimard, La Pléiade, París, 1954).
- (14) N. Chomsky, *Problems of Knowledge and Freedom: The Russell Lectures* (Pantheon Books, Nueva York, 1971).

## 2

# El bricolaje de la evolución

La sangre... sigue siendo lo mejor que podemos tener en las venas.

Woody Allen, *Getting Even*



En 1543, año de las publicaciones de la obra de Copérnico, el Sol dejó de girar alrededor de la Tierra. Ese mismo año aparece otra obra, *De humani corporis fabrica*, de Vesalio, que pertenece a un género totalmente nuevo, pero no por el tema –la descripción del cuerpo humano–, sino por la factura. Por primera vez, deja de explicarse el cuerpo según el discurso tradicional repetido de generación en generación. El cuerpo se representa en una serie de láminas en las que el arte del pintor se alía al saber del médico para explicar con detalle lo que el escarpelo va descubriendo progresivamente. Lo que aparece en el libro no es sólo el estudio de alguna región anatómica, como en el caso de Durero, Miguel Angel y, especialmente Leonardo da Vinci. Es la arquitectura del conjunto del cuerpo humano en posturas relacionadas con la vida diaria. Nada hasta entonces había alcanzado la precisión y la elegancia de esas láminas. La de ese esqueleto, por ejemplo, erguido, de perfil, algo inclinado hacia delante y apoyado desenfadadamente sobre lo que parece una gran mesa a la derecha del dibujo. Destaca sobre un fondo de paisaje en miniatura, esa mezcla de palacios, ruinas, colinas salpicadas de arbolillos con los que el Renacimiento caracterizaba sus perspectivas. Lo que proporciona su nitidez y su relieve a cada uno de los huesos es una luz bastante tenue procedente de la parte superior derecha, de tal forma que la sombra se acentúa sobre la parte posterior del cráneo y las vértebras. La postura del esqueleto es relajada, como si el artista hubiese querido dar la impresión de relajación y recogimiento.

Relajación por la postura un tanto despreocupada: el peso de todo el esqueleto recae sobre la pierna derecha, en posición recta, mientras que la rodilla izquierda está lo suficientemente flexionada como para que se crucen las tibias, y el pie izquierdo reposa sobre la punta; también impresión de recogimiento, pues el brazo, apoyado sobre la mesa por el codo, retorna a la cabeza formando un ángulo agudo, de manera que ésta se apoya sobre el dorso de la mano, en actitud pensativa. Pero lo que más llama la atención y da al grabado toda su fuerza es el hecho de que el rostro está orientado hacia otro cráneo que sostiene la mano derecha sobre la mesa. Con toda la capacidad de expresión de sus órbitas, el esqueleto parece estar escrutando otro rostro, expresando el deseo del hombre de estudiarse a sí mismo.

En efecto, hasta entonces, el arte renacentista nunca se había prodigado en esqueletos. Pero, si bien las figuras de Vesalio presentan el mismo rictus que las de Holbein o Durero, si bien muestran la misma sonrisa descarnada, no cumplen la misma función. En los bajorrelieves o en las pinturas, los esqueletos de las danzas macabras simbolizan la fragilidad de la existencia. Nos recuerdan a todos la igualdad ante la muerte. Anuncian el juicio que separa esta vida del más allá. En los grabados de Vesalio se trata de algo muy distinto. Lo que pone de manifiesto esa serie de esqueletos, de frente, de espaldas o de perfil, es la estructura que sostiene el edificio del cuerpo humano, la estructura en la que se insertan los músculos y actúan las fuerzas que coordinan el movimiento y hacen posible el trabajo. Pese a la ausencia de mirada propiamente dicha, los esqueletos de Vesalio expresan la actividad de la vida y no precisamente el miedo a la muerte.

Es una historia distinta de la que nos narra otra serie de láminas de Vesalio. También en este caso, el conjunto del cuerpo humano se presenta de frente o de espaldas sobre un fondo de paisaje. También aquí, esas figuras de caras atormentadas aparecen en actitudes que resultan familiares y de las que emanan energía y dignidad. Primero, desprovistos de piel, esos cuerpos de hombres y de mujeres muestran la red de vasos sanguíneos superficiales. Luego, en las láminas posteriores, van desapareciendo una a una las capas de músculos. Vesalio secciona los músculos en sus puntos de contacto superiores y, doblándolos, permite ver lo que ocultan. El cuerpo va perdiendo así su opacidad. En cada incisión aparece alguna forma nueva, en cada brecha una simetría lineal o superficial. En algunas figuras, lo oculto aflora a la superficie y poco a poco todo el cuerpo se nos ofrece a la vista. Pero a medida que ese cuerpo va perdiendo espesor, a medida que se le despoja de sus músculos, pierde progresivamente porte y dignidad. Le vemos hundirse lentamente, página a página, y lentamente se convierte en una especie de manequí apoyado en una pared; por último, no es más que una estructura vacía, mantenida en pie por la cuerda de la horca. La historia que explican esas láminas de Vesalio nos resulta hoy habitual, pero no lo era entonces. Nos recuerda que el hombre occidental ha logrado hacer de sí mismo un objeto científico a través de su propio cadáver. Para conocer su cuerpo, tiene que destruirlo primero.

Para el siglo XVI, la forma del cuerpo humano es única. No se parece a nada más. Diseccionar cadáveres, explorar todos sus rincones, representarlos plano a plano, equivale ante todo a subrayar la singularidad del hombre y a precisar en qué se distingue de los animales. También equivale a dar gracias a Dios. Pues el cuerpo del hombre es, según Fernel<sup>(1)</sup>, “la forma suprema y más perfecta de todas las formas sublunares”. La anatomía, según Ambroise Paré<sup>(2)</sup>, lleva directamente “al conocimiento del Creador, como el efecto al conocimiento de su causa”. Los objetos de la anatomía, esas estructuras que el escalpelo deja entrever progresivamente, también empiezan a ser estudiadas por sí mismas. Su interés reside en su propia forma, que contribuye a dar al cuerpo humano su coherencia y su vida. Por consiguiente, la anatomía es un campo en

el que confluyen tanto médicos como pintores y escultores. La enfermedad no mantiene entonces con el cuerpo una relación tan directa como la que conocemos en la actualidad. No tiene la misma base orgánica, ni procede de las mismas causas. Es un desorden del cuerpo y pone de manifiesto un desequilibrio de las fuerzas que dan vida a ese cuerpo; expresa un desequilibrio de los elementos de los humores, o de las relaciones establecidas entre el alma y el cuerpo, o incluso del juego de influencias secretas que, de todo el universo, convergen en el hombre y se articulan en él. Un dolor en el vientre no refleja una lesión del abdomen sino un exceso de humor, o la influencia de un astro, o una expiación, una venganza, un castigo divino.

A finales del Renacimiento, la anatomía era una ciencia cerrada, no relacionada con las demás formas del saber. Hasta más adelante, en los siglos XVII y XVIII, no se fundamentará el conocimiento de los seres vivos y de sus constituyentes en sus relaciones: la relación entre estructuras y funciones con la fisiología de Harvey; la relación entre estructuras y enfermedades con la anatomía patológica de Morgagni; la relación entre estructuras pertenecientes a organismos distintos con la anatomía comparada. Gracias a esa comparación de formas y las estructuras, a la idea de que su distribución espacial refleja una variación temporal, podrá hacer su aparición una teoría de la evolución.



El nacimiento de la anatomía ofrece un gran interés, y no sólo debido a la época, que en sí misma resulta fascinante, sino también por el hecho de que la biología moderna se encuentra en una situación bastante parecida. Desde hace unos treinta años, se considera que las propiedades de los seres vivos se deben a las características e interacciones de las moléculas que los componen. Desde entonces, los biólogos persiguen a las moléculas. No es una exageración decir que cada día se aíslan nuevas moléculas a partir de algún organismo. Para estudiar un fenómeno nuevo, cualquier joven investigador capaz se preocupará de determinar las proteínas en presencia, purificarlas, especificar la secuencia de sus nucleótidos. Pero por muy capaz que sea, necesitará unas cuantas décadas, cuando no algunos siglos –y lo mismo le ocurrirá al investigador viejo- antes de tener oportunidad de comprender cómo ha podido llegar dicha molécula a ese organismo para ejercer lo que parece ser su función.

Todo esto da la impresión de pertenecer a la anatomía molecular. Para justificar las estructuras puestas de manifiesto por el escarpelo, los anatomistas del siglo XVI tenían que recurrir a la voluntad de Dios. Para justificar las estructuras reveladas por la cromatografía, los biólogos moleculares del siglo XX recurren a la selección natural, o sea, una mezcla de azar y de competencia en la reproducción. En consecuencia, se eleva la Historia a la categoría de causa mayor.

En nuestro universo, la materia se organiza según una jerarquía de estructuras a través de una serie de integraciones sucesivas. Ya sean inanimadas o no, los objetos que se encuentran en la tierra siempre forman organizaciones, sistemas. A cada nivel, dichos sistemas utilizan sistemas del nivel inferior como ingredientes, pero sólo unos pocos. Las moléculas, por ejemplo, constan de átomos, pero las moléculas que aparecen en la naturaleza o que se producen en el laboratorio no representan más que una pequeña fracción de todas las posibles interacciones entre átomos. Al mismo tiempo, las

moléculas pueden presentar ciertas propiedades, como la isomerización y la recemización, que no se producen a nivel de átomos. En un nivel superior, las células se componen de moléculas, pero también aquí el conjunto de moléculas existentes en los seres vivos es muy restringido si se compara con la totalidad de los objetos de la química. Además, las células son capaces de dividirse, lo cual no ocurre con las moléculas. Al siguiente nivel, el número de especies animales vivas asciende a unos pocos millones, número muy inferior al que podría existir. Todos los Vertebrados están compuestos por un pequeño número de tipos celulares –nerviosos, glandulares, musculares, etcétera-, del orden de doscientos tal vez. Lo que permite la gran diversidad en los Vertebrados es el número total de células, así como el reparto y las proporciones relativas de esos pocos tipos celulares.

Así pues, la jerarquía en la complejidad de los objetos posee dos características: por un lado, los objetos que existen a un determinado nivel no forman sino una muestra limitada de todas las posibilidades que ofrece la combinación del nivel inferior; por otro, a cada nivel pueden aparecer nuevas propiedades que imponen nuevos condicionamientos o restricciones a los sistemas. Pero en todos los casos se trata sólo de una acumulación de restricciones, pues las que existen a un nivel dado se mantienen vigentes a niveles más complejos. Sin embargo, lo más frecuente es que las proporciones que tienen gran importancia para un nivel concreto, no tengan ninguna a otros niveles. La ley de los gases perfectos no es menos cierta para los objetos de la biología que para los de la física. Lo que ocurre es que no tiene el menor interés para las preguntas que se formulan los biólogos.

Sean vivos o no, los objetos complejos son resultados de procesos evolutivos en los que intervienen dos factores: por una parte, las restricciones que, a cada nivel, determinan las reglas del juego y marcan los límites de lo posible; por otra, las circunstancias que rigen el verdadero curso de los acontecimientos y controlan las interacciones entre los sistemas. La combinación de condicionamientos y de la historia es algo que encontramos a cada nivel, aunque en proporciones distintas. Los objetos más sencillos están más sometidos a los condicionamientos que a la historia. Al incrementarse la complejidad, aumenta la influencia de la historia. El propio universo y los elementos que lo constituyen poseen historia. Según las teorías actuales, los núcleos pesados están constituidos por núcleos ligeros y, en definitiva, por núcleos de hidrógeno y neutrones. La transformación del hidrógeno pesado en helio se lleva a cabo mediante procesos de fusión, la fuente principal de energía tanto en el Sol como en las bombas de hidrógeno. El helio y todos los elementos pesados son también el resultado de una evolución cósmica. Según las ideas actuales, los elementos pesados representan los productos de explosión de las supernovas, y parecen ser muy raros. La Tierra y los demás planetas del sistema solar se han formado, por tanto, a partir de condiciones que sólo parecen producirse raramente en el cosmos.

Evidentemente, la historia adquiere una importancia mucho mayor en biología. Y como sólo pueden formalizarse los condicionamientos, pero no la historia, la biología tiene una categoría científica distinta a la de la física. En biología, la explicación presenta un carácter doble. Al estudiar cualquier sistema biológico, independientemente de su nivel de complejidad, se pueden plantear dos preguntas: ¿cómo funciona?; y ¿cuál es su origen? La biología experimental, desde hace un siglo, se ha centrado sobre todo en la primera pregunta, en el estudio de las interacciones actuales. Esta biología se orienta básicamente hacia el estudio de mecanismos, y proporciona cierto número de respuestas en términos fisiológicos, bioquímicos o moleculares. Pero posiblemente la segunda pregunta, la relativa a la evolución, sea la más profunda, pues engloba la primera. La teoría moderna de la evolución ha basado las reglas de su juego histórico en

dos condicionamientos que actúan sobre los seres vivos: la reproducción y la termodinámica. Sin embargo, para comprender ciertos aspectos estructurales y funcionales de los seres vivos, los elementos que pueden tener importancia no son sólo las reglas, sino eventualmente los detalles del proceso histórico. En efecto, cada organismo vivo actual representa el último eslabón de una cadena ininterrumpida de unos tres mil millones de años. De hecho, los seres vivos son estructuras históricas. Son literalmente, creaciones de la historia.

Al igual que la anatomía comparada se esforzó por definir las relaciones estructurales y funcionales entre las especies, la anatomía molecular comparada se esfuerza por esbozar las vías seguidas por la evolución, especialmente aquellas de las que no se ha conservado ningún fósil. Un ejemplo lo constituye el análisis de una proteína como el citocromo c, que nos ha proporcionado información sobre uno de los aspectos más fascinantes del desarrollo de la vida en la tierra: la manera en que los organismos han podido obtener energía, almacenarla y utilizarla<sup>(3)</sup>. El citocromo c funciona como una lanzadera de electrones en las cadenas de transporte de electrones que actúan en la fotosíntesis o en la respiración. La secuencia de aminoácidos e incluso, en ciertos casos, la estructura tridimensional del citocromo c han sido desentrañadas en numerosas especies (entre otras, diversos microorganismos –bacterias aerobias que pueden utilizar oxígeno o nitratos para las oxidaciones, bacterias fotosintéticas verdes o rojas, algas cianofíceas-, y también organismos superiores, como animales con mitocondrias o vegetales con mitocondrias y cloroplastos). En muchos de estos organismos, las semejanzas entre sus citocromos c son sorprendentes. Independientemente de su origen o de su función metabólica, todos estos citocromos c parecen pertenecer a una misma familia de moléculas proteicas con un origen común.

Este tipo de análisis proporciona dos tipos de información. Por un lado, al combinar los datos sobre el citocromo c con los relativos a otras proteínas, resulta posible esbozar un árbol filogénico que resuma las relaciones entre respiración y fotosíntesis en las bacterias. De esta manera pueden representarse las etapas principales de la evolución del metabolismo energético, tales como el paso de bacterias fotosintéticas reductoras del azufre a algas cianofíceas, que poseen el ciclo habitual de la reducción del anhídrido carbónico; la sustitución progresiva de reductores fuerte, como el sulfuro de hidrógeno, por el agua; la formación de una atmósfera oxidante; la aparición de la respiración, etc.

Por otro lado, la evolución del citocromo c pone de manifiesto el juego de los condicionamientos o restricciones y de la historia a nivel molecular. En una molécula como el citocromo c, las restricciones físicas y químicas son especialmente fuertes, debido a las exigencias del hemo y de los electrones que pueden desplazarse libremente sobre un lado de la molécula. En un estado inicial de la evolución, la estructura de base demostró funcionar eficazmente para el transporte de electrones. Desde entonces, se ha mantenido sin grandes cambios de los procariotas fotosintéticos a las células eucariotas, protistas, hongos, vegetales y animales. Para muchas otras proteínas, las restricciones son menos limitadoras. Permiten que la historia introduzca suficientes variaciones como para hacer que las estructuras sean muy diferentes en especies variadas. Pero el citocromo c no deja demasiado lugar a la diversificación histórica. Sólo pueden producirse algunos cambios de posición de aminoácidos. Si bien todas las distintas moléculas están dobladas de la misma manera y presentan la misma configuración, su longitud varía entre 82 y 134 aminoácidos. Las principales diferencias se deben a la adición, o a la delección (supresión) de bucles en la superficie de la molécula. Todo ello no da mucha información acerca de los acontecimientos históricos que han modificado

la molécula en el transcurso de la evolución; sin embargo, nos informa sobre la manera de actuar de la evolución en lo relativo a la creación de nuevos tipos moleculares.



Muchas veces se ha comparado la acción de la selección natural con la de un ingeniero, pero la comparación no parece demasiado afortunada. En primer lugar porque, a diferencia de lo que ocurre con la evolución, el ingeniero trabaja según un plan, según un proyecto que ha ido madurando durante largo tiempo. En segundo lugar porque, para fabricar una estructura nueva, el ingeniero no procede necesariamente a partir de objetos antiguos. La bombilla no deriva de la bujía, ni el reactor del motor de explosión. Para producir un nuevo objeto, el ingeniero dispone de materiales especialmente apropiados para su tarea y de máquinas únicamente diseñadas a tal fin. Por último, porque los objetos producidos por el ingeniero, al menos producidos por un buen ingeniero, alcanzan el grado de perfección que la tecnología de su época permite. La evolución, por el contrario, está muy lejos de la perfección, como constataba repetidamente Darwin, cada vez que se enfrentaba con el argumento de la creación perfecta. A lo largo y a lo ancho de *El origen de las especies*, Darwin insiste en las imperfecciones estructurales y funcionales del mundo de los seres vivos. Continuamente hace hincapié en las rarezas, las soluciones extrañas que un Dios razonable nunca hubiese utilizado. Y uno de los mejores argumentos contra la perfección procede de la extinción de las especies. Se puede valorar en varios millones el número de especies animales que viven en la actualidad. Pero el número de especies que han desaparecido en un momento u otro debe ascender como mínimo a unos quinientos millones, según cálculos efectuados por G. C. Simpson<sup>(4)</sup>.

La evolución no obtiene sus innovaciones de la nada. Elabora sobre lo que ya existe, bien transformando un sistema antiguo para asignarle una nueva función, bien combinando diversos sistemas para construir otro más complejo. El proceso de selección natural no se parece a ningún aspecto del comportamiento humano. Pero si se trata de establecer una comparación, entonces hay que decir que la selección natural trabaja no como un ingeniero, sino como un “experto en bricolaje”<sup>(5)</sup>; éste, aún desconociendo lo que desea producir, va recogiendo todo lo que encuentra: trozos de cordel, de madera, de cartón viejo que le servirán como materiales; en definitiva, aprovecha todo lo que halla a su alrededor para producir con todo ello algún objeto utilizable. El ingeniero pone manos a la obra cuando ha reunido los materiales y los instrumentos que requiere su proyecto. En cambio, el experto en bricolaje se arregla con lo que le viene a la mano. En general, los objetos que produce no responden a ningún proyecto de conjunto, sino que son el resultado de una serie de acontecimientos contingentes, el fruto de todas las ocasiones de enriquecer su instrumental que se le han presentado. Como ha indicado Claude Lévi-Strauss<sup>(6)</sup>, las herramientas del experto en bricolaje, a diferencia de las del experto en cuestiones de ingeniería, no pueden estar definidas por programa alguno. Los materiales de que dispone no tienen una adscripción precisa. Cada uno de ellos puede servir a distintos propósitos. Estos objetos no tienen nada en común, excepto la siguiente consideración: “Para algo servirá”. ¿Para qué? Depende de las circunstancias.

Por varios motivos, el proceso de la evolución se parece a esa forma de operar. En muchas ocasiones, y sin un objetivo a largo plazo, el experto en bricolaje toma uno de los objetos de que dispone y le asigna una tarea inesperada: de una vieja rueda de coche, hace un ventilador; de una mesa rota una sombrilla. Este tipo de manipulación no difiere sustancialmente de lo que hace la evolución cuando produce un ala a partir de una pata, o parte del órgano auditivo a partir de un fragmento de mandíbula. Es un aspecto que ya destacó Darwin en su libro dedicado a la fecundación de las orquídeas<sup>(7)</sup>, como recuerda Michael Ghiselin<sup>(8)</sup>. Para Darwin, las estructuras nuevas se han ido elaborando a partir de órganos preexistentes que, en un principio, tenían asignadas unas tareas concretas que fueron adaptándose progresivamente a otras funciones. Por ejemplo, en las Orquídeas existía una especie de “liga” (adhesivo) que, inicialmente, retenía el polen sobre el estigma. Tras una ligera modificación, dicho adhesivo permitió pegar polen al cuerpo de los insectos, que garantizaron entonces la reproducción cruzada. Igualmente, muchas estructuras que no parecen tener función o significación alguna y que, según la expresión de Darwin, parecen “trozos de anatomía inútil”, tienen una sencilla explicación en tanto que vestigios de alguna función más antigua. Así, según afirmaba Darwin, “si un hombre construye una máquina con un objetivo determinado, pero utiliza para tal fin, después de una ligera modificación, viejas ruedas, viejas poleas y viejos muelles, la máquina, con todas sus partes, podrá organizarse en función de ese objetivo. Así, en la naturaleza, es presumible que las distintas partes de cualquier ser vivo hayan tenido, con ligeras modificaciones, distintos objetivos y hayan funcionado en la máquina viva de diversas maneras específicas antiguas y distintas”.

La evolución actúa como un experto en bricolaje que a lo largo de millones de años hubiera ido modificando lentamente su obra, retocándola continuamente, cortando por aquí, añadiendo por allá, aprovechando cualquier ocasión para ajustar, transformar<sup>(9)</sup>, crear. La formación del pulmón en los vertebrados terrestres, descrita por Ernst Mayr<sup>(9)</sup>, proporciona un ejemplo de dicho proceso. Su desarrollo se inició en unos peces de agua dulce que vivían en charcas estancadas (con poco oxígeno, por tanto). Estos peces se fueron acostumbrando a tragar aire y a absorber el oxígeno a través de las paredes de su esófago. En esas condiciones, cualquier alargamiento de la superficie de dicha pared se traducía en una ventaja selectiva. Entonces fueron formándose unos divertículos del esófago que, debido a la continua presión de la selección, fueron ampliándose poco a poco y transformándose en pulmones. La evolución posterior del pulmón fue sólo una “elaboración” de ese tema, con el aumento de la superficie utilizada para el paso del oxígeno y para la formación de vasos. Fabricar un pulmón con un trozo de esófago es algo muy parecido a hacerse una falda con una cortina de la abuela.

Cuando distintos ingenieros se plantean un mismo problema pueden llegar a la misma solución: todos los coches se parecen entre sí, al igual que todas las máquinas de fotografiar y todas las plumas estilográficas. Por el contrario, cuando distintos expertos en bricolaje se interesan por una misma cuestión, encuentran soluciones distintas, según las disponibilidades con que cuenten. Lo mismo puede decirse de los productos de la evolución, como pone de manifiesto, por ejemplo, la diversidad de ojos que hallamos en los seres vivos. Es evidente que poseer fotorreceptores supone una gran ventaja en situaciones muy variadas. A lo largo de la evolución, han aparecido muchos tipos de ojos, basados en tres principios físicos distintos, por lo menos: lente, agujero y tubos múltiples. El tipo más perfeccionado es el nuestro, es decir, ojos en forma de lente con capacidad para formar imágenes; la información que proporcionan no sólo se refiere a la intensidad de la luz, sino también a los objetos iluminados, su forma, color, posición, movimiento, velocidad, distancia, etc. Unas estructuras tan elaboradas han de ser necesariamente muy complejas. Por tanto, no pueden desarrollarse sino en organismos

de por sí ya muy complejos. Podría creerse que existe una única forma de producir una estructura de ese tipo. Pero no es así en absoluto. El ojo en forma de lente ha aparecido en la historia evolutiva por lo menos dos veces, en los Moluscos y en los Vertebrados. El ojo que más se parece al nuestro es el del pulpo. Ambos funcionan prácticamente por igual y, sin embargo, no han evolucionado de la misma manera. En los Moluscos, las células fotorreceptoras están dirigidas hacia la luz y en los Vertebrados en sentido contrario. De todas las soluciones encontradas al problema de los fotorreceptores, las dos que acabamos de mencionar se parecen mucho, sin ser idénticas. En cada caso, la selección natural hace lo que puede con los medios de que dispone.

Por último, a diferencia del ingeniero, el experto en bricolaje que pretende mejorar su obra opta muchas veces por añadir nuevas estructuras a las antiguas en vez de sustituirlas. Este procedimiento también resulta frecuente al tratarse de la evolución, como pone especialmente de relieve, por ejemplo, el desarrollo del cerebro en los mamíferos. En efecto, el cerebro no se ha desarrollado siguiendo un proceso tan integrado como la transformación de una pata en un ala, por ejemplo. Al viejo rinencéfalo de los mamíferos inferiores vino a agregarse un neocórtex que rápidamente, tal vez demasiado rápidamente, desempeñó un papel principal en la secuencia evolutiva que culmina en el hombre. Para ciertos neurobiólogos, en especial McLean<sup>(10)</sup>, estos dos tipos de estructuras corresponden a dos tipos de funciones que no están ni coordinadas ni jerarquizadas completamente. La más reciente, el neocórtex, regula la actividad intelectual y cognoscitiva. La más antigua, ligada al rinencéfalo, regula las actividades viscerales y emotivas. Esta vieja estructura que llevaba las riendas en los mamíferos inferiores ha quedado relegada, en cierta medida, al almacén de las emociones. En el hombre constituye lo que McLean denomina “el cerebro visceral”. El desarrollo del ser humano se caracteriza por una lentitud extraordinaria que da lugar a una madurez tardía. Posiblemente por ello las viejas estructuras cerebrales han mantenido estrechas conexiones con los centros autónomos inferiores y siguen también coordinando actividades tan fundamentales como la obtención de alimento, la búsqueda de compañera o compañero sexual o la reacción ante un enemigo. Formación de un neocórtex dominante, mantenimiento de un antiguo sistema nervioso y hormonal, parcialmente autónomo, parcialmente tutelado por el neocórtex: el proceso evolutivo recuerda en gran medida la forma de hacer del aficionado al bricolaje. Es algo así como instalar un motor de reacción en un viejo carro de mulas: no es de sorprender que ocurran accidentes.



Posiblemente sea a nivel molecular donde se manifieste más claramente ese aspecto de la evolución que relacionamos con el bricolaje. Los elementos que caracterizan el mundo de los seres vivos son su unidad subyacente y su diversidad aparente. En él coexisten bacterias y ballenas, virus y elefantes, organismos que viven a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  en regiones polares y otros a  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  en regiones cálidas. Sin embargo, todos esos organismos presentan una sorprendente unidad estructural y funcional. Los mismos polímeros, ácidos nucleicos y proteínas, compuestos por idénticos elementos básicos, desempeñan siempre los mismos papeles. El código genético es el mismo y la maquinaria de traducción no difiere sustancialmente. Intervienen los mismos coenzimas en reacciones parecidas. En todo el abanico que va desde la bacteria hasta el hombre, muchas reacciones son básicamente idénticas. Es indudable que la vida sólo podía

constituirse después que apareciese toda una serie de tipos moleculares. Todos los compuestos que caracterizan el mundo de los seres vivos tuvieron que formarse necesariamente en el transcurso de la evolución química que precedió a la aparición de la vida y al comienzo de la evolución biológica. Pero una vez iniciada la vida en alguna forma de organismo primitivo capaz de reproducirse, la evolución posterior progresó básicamente por el mecanismo consistente en manipular los compuestos ya existentes. La aparición de nuevas proteínas permitió la realización de nuevas funciones. Pero esas proteínas sólo podían ser variaciones de temas conocidos. Una secuencia de mil nucleótidos determina la estructura de una proteína de tamaño medio. La probabilidad de formación *ex novo* de una proteína funcional, por asociación aleatoria de aminoácidos, es prácticamente nula. En organismos tan complejos e integrados como los existentes desde hace muchísimo tiempo, la creación de secuencias nucleicas totalmente nuevas no podía tener un papel importante en la producción de información nueva. Durante gran parte de la evolución biológica, la creación de estructuras moleculares sólo podía basarse en continuos reajustes de estructuras ya existentes. Eso puede tener lugar, por ejemplo, a consecuencia de la duplicación de genes. Cuando existen varios ejemplares de un gen en una célula o gameto, el gen no está sometido a las restricciones o condicionamientos impuestos por la selección natural. Por lo tanto, las mutaciones pueden acumularse más o menos libremente y dar lugar a una estructura nueva. Todo parece indicar que ese proceso se ha ido produciendo con frecuencia en la historia de la evolución, como lo demuestra la existencia de familias de proteínas muy parecidas, controladas por grupos de genes que proceden de un antepasado común, por ejemplo la familia de las globulinas o la de los antígenos del complejo mayor de histocompatibilidad.

Así pues, la evolución se ha basado en una especie de bricolaje molecular, en una constante reutilización de lo viejo para producir lo nuevo. Eso parecen indicar las homologías de secuencias observadas no sólo entre el ADN de organismos diferentes, e incluso muy distantes filogenéticamente, sino en el ADN de un mismo organismo. La misma conclusión puede sacarse de las analogías existentes entre las proteínas, a medida que vamos conociendo mejor sus funciones: no sólo las proteínas que desempeñan funciones parecidas en organismos distintos presentan a menudo secuencias similares, sino que proteínas que garantizan funciones distintas poseen a veces importantes segmentos de secuencia comunes. Es como si en el transcurso de la evolución, los genes estructurales que determinan la secuencia de los aminoácidos en las proteínas se hubiesen formado por combinación y permutación de pequeños fragmentos de ADN.

Esta variedad de secuencias nucleicas, a las que hay que atribuir el origen de proteínas nuevas, queda ilustrada por un aspecto concreto del desarrollo embrionario de los Mamíferos: la producción de anticuerpos. Como hemos señalado anteriormente, un mamífero puede producir varias decenas o centenares de millones de anticuerpos distintos. El número es muy superior al de genes estructurales contenidos en un genoma de mamífero. De hecho, sólo se utiliza un número limitado de segmentos genéticos, pero lo que crea la diversidad durante el desarrollo del embrión es el efecto acumulado de diversos mecanismos que operan a tres niveles: 1) A nivel de la célula: cada célula productora segrega un único tipo de anticuerpo y sólo uno; la diversidad de anticuerpos producidos por el organismo es inducida por el conjunto de tales células. 2) A nivel de la proteína: todo anticuerpo se forma a partir de la asociación de dos cadenas proteicas, una pesada y otra ligera; cada una de ellas es escogida de entre un conjunto de varios miles, y las combinaciones dan lugar a varios millones de anticuerpos posibles. 3) A nivel del gen: cada gen que regula la estructura de una de dichas cadenas, pesada o

ligera, queda configurado, durante el desarrollo embrionario, por la unión de varios fragmentos de ADN, cada uno de ellos escogido de entre un conjunto de secuencias parecidas, aunque no idénticas. Mediante esa combinatoria, una información genética en cantidad limitada en el proceso germinal es suficiente para producir, en las células somáticas, un número enorme de estructuras proteicas, cada una de ellas capaz de fijarse sobre una molécula distinta. Este ejemplo es muy ilustrativo de la manera en que trabaja la naturaleza para generar diversidad: la continua combinación de los mismos segmentos y los mismos fragmentos.

La creación de nuevos genes durante la evolución no puede ofrecer el mismo grado de precisión y de eficacia que la producción de anticuerpos durante el desarrollo del embrión. Pero muy bien podían intervenir los mismos principios. Parece probable que los nuevos genes se hayan formado al combinarse aleatoriamente secuencias de ADN ya existentes. De hecho, habrá que convenir que un mecanismo de ese tipo, capaz de unir entre sí segmentos de ADN, debe remontarse a épocas muy remotas de la evolución, puesto que los organismos primitivos no debían ser capaces, inicialmente, de formar grandes proteínas. Es muy probable que todo empezase con pequeñas secuencias de 30 a 50 nucleótidos producidos por evolución química, siendo cada una de ellas capaz de codificar de 10 a 15 aminoácidos. Más adelante, esas secuencias debieron unirse al azar por algún proceso de “ligamento”[likange], dando lugar a cadenas más largas. Algunas de ellas demostraron tener utilidad y fueron seleccionadas. De ser así, tendríamos que ir encontrando cada vez con mayor frecuencia secuencias de ADN comunes a lo que parecen ser genes no relacionados entre sí. A medida que progresa el análisis de las secuencias nucleicas y proteicas, tendría que ir apareciendo un número creciente de familias y subfamilias. También aquí resulta difícil entender que la evolución molecular hubiera podido avanzar si no hubiese fabricado lo nuevo a partir de lo viejo, uniendo fragmentos de ADN; es decir, haciendo bricolaje.

Durante mucho tiempo los cromosomas se han considerado como estructuras perfectas y, en cierto sentido, intangibles. Se les atribuía la característica de contener todo el material genético necesario para garantizar la producción del organismo y su funcionamiento. Pero, desde hace unos años, esta caracterización ha tenido que modificarse totalmente debido a los nuevos hallazgos. Además de las secuencias específicas que determinan las secuencias de las proteínas, el ADN de los organismos eucariotas contiene una parte importante –que puede llegar a superar el 40% del genoma- de ADN inespecífico formado por pequeñas secuencias más o menos repetidas. Incluso los genes estructurales tienen con frecuencia interrupciones constituidas por un número variable de secuencias interpuestas, transcritas en ARN, pero eliminadas antes de traducirse en proteína. Además el genoma contiene una clase de unidades genéticas, llamadas “elementos trasponibles”, capaces de integrarse o desprenderse del genoma. Ello puede ocurrir en numerosos lugares del ADN huésped, produciendo mutaciones, inversiones, transposiciones, etc. Todavía no se conoce la función de dichas secuencias y su propia entidad es objeto de debate. A algunos biólogos, la dificultad en admitir estructuras sin funciones, en particular en el ADN, les ha llevado a sugerir toda una serie de funciones relacionadas con la evolución o la regulación de la actividad de los genes; sin embargo, ningún argumento experimental ha logrado corroborar esas posibilidades. Otros consideran dichas frecuencias como ADN parásito, sin papel alguno en la economía del organismo. Pero no por el hecho de que sea desconocida, una función deja de existir. La cuestión reside en saber a que nivel hay que buscar la explicación y si ésta es necesaria. Además, un fragmento de ADN que se propague primero sin influenciar el fenotipo del huésped puede muy bien ejercer efectos secundarios sobre éste. En concreto, puede acabar confiriendo algún tipo de ventaja

selectiva a la descendencia del huésped. La yuxtaposición de esas dos particularidades, es decir la fragmentación de genes estructurales en segmentos de ADN más pequeños y separados por secuencias interpuestas, y la presencia, en muchos ejemplares, de elementos transponibles capaces de distribuirse por el genoma y de transferir segmentos de ADN de un lado a otro, proporciona los instrumentos precisos para movilizar fragmentos de genes, recombinarlos y diversificarlos sin fin. Lo más probable es que la mayoría de las combinaciones nuevas no sirvan para nada. Sin embargo, una de ellas quizá puede dar lugar a una estructura proteica capaz de desempeñar, incluso eficazmente, alguna función nueva en la célula. Las mutaciones posteriores permitirán que la estructura se perfeccione. Es indudable que la evolución no hace previsiones, y no puede darse que un elemento genético seleccionado por su posible utilidad en un futuro. Pero en este punto, e independientemente de la razón –o la ausencia de razón- de su presencia, una estructura de ese tipo puede tener alguna “utilidad”. Entonces se convierte en el blanco de una presión selectiva sobre el fenotipo de su huésped.



Por tanto, no es la innovación bioquímica lo que parece ser la principal fuerza responsable de la diversificación de los seres vivos. La fase realmente creadora de la bioquímica debió haberse producido muy pronto, ya que la unidad bioquímica que subyace a la evolución del mundo de los seres vivos sólo tiene sentido si los organismos muy primitivos contaban con la mayoría de los constituyentes propios de los seres vivos: sistemas de duplicación y de traducción, cadenas enzimáticas implicadas en la síntesis o la degradación de los metabolitos básicos, sistemas para la incorporación y almacenamiento de energía, etc. Una vez superada esta fase, la evolución bioquímica prosiguió a medida que iban apareciendo organismos más complejos. Pero no han sido las innovaciones bioquímicas las que han provocado la diversificación de los organismos. Lo más probable es que haya sido justo al revés. En efecto, la presión selectiva ejercida por los cambios de comportamiento o de nicho ecológico ha provocado una serie de ajustes bioquímicos y modificaciones moleculares. Lo que distingue una mariposa de un león, o una gallina de una mosca, o un gusano de una ballena, no son tanto las diferencias de los constitutivos químicos cuanto la organización y distribución de éstos. Pero las pocas etapas verdaderamente grandes de la evolución han exigido con toda evidencia la adquisición de nueva información. Sin embargo, la especialización y la diversificación sólo han requerido una utilización distinta de una misma información estructural. Al analizar el ritmo de la evolución en las ranas y en los Mamíferos, por ejemplo, se observa que los cambios en la secuencia de genes estructurales se producen, en gran parte, con la independencia de los cambios anatómicos; en los grupos próximos, como los Vertebrados, la química es la misma. Por el contrario, los cambios de regulación que se han detectado al estudiar los cromosomas y la viabilidad de los híbridos, parecen evolucionar de forma paralela a los cambios anatómicos. Como ha puesto de relieve Allan Wilson<sup>(11)</sup>, las diferencias entre vertebrados constituyen más un problema de regulación que de estructura.

A principios del siglo XIX, Von Baer indicó ya que en organismos próximos, como sucede en el conjunto de los vertebrados, las primeras etapas del desarrollo embrionario se parecían mucho entre sí. Las divergencias se manifiestan bastante tarde

en el transcurso de ese desarrollo. Tienen más que ver con el número y la posición de las células que con la estructura de los tipos celulares. Lo que distingue el ala de una gallina de un brazo humano, no es tanto la diferencia entre los materiales constitutivos de esos órganos cuanto la forma de construirlos, el reparto de las moléculas y las células que los constituyen. Unos pequeños cambios que redistribuyen las mismas estructuras en el espacio y el tiempo bastan para modificar profundamente la forma, el funcionamiento y el comportamiento del producto final: el animal adulto. Todo consiste siempre en utilizar los mismos elementos, ajustarlos modificando por aquí o por allá, combinarlos de forma distinta produciendo objetos nuevos de complejidad creciente. Siempre es un problema de bricolaje.

Eso mismo pone de manifiesto la comparación de las macromoléculas del hombre y del chimpancé. Las pequeñas diferencias de genes estructurales no bastan para explicar las grandes diferencias anatómicas entre estas dos especies. Por término medio, una cadena proteica humana es idéntica en más de un 99% a su homóloga en el chimpancé. En su mayoría, las diferencias de secuencia en el ADN corresponden a redundancias del código genético, o a variaciones en las regiones no transcritas del ADN. Para unos cincuenta genes estructurales, la distancia genética media entre el ser humano y el chimpancé es muy pequeña. Es inferior a la distancia media entre especies humanas, que apenas pueden distinguirse por comparación anatómica, y muy inferior a la distancia entre dos especies congénitas cualesquiera. Según ha demostrado Allan Wilson, las diferencias de organización entre seres humanos y grandes simios sólo pueden basarse en los cambios de algunos genes de regulación.

Los anatomistas y los paleontólogos han llegado a una conclusión similar, al subrayar la importancia de lo que han llamado “retraso del desarrollo” como factor evolutivo. Algunos de los elementos más dramáticos de la evolución están vinculados a cambios que adelantan la madurez sexual situándola en un estadio precoz del desarrollo. Los rasgos que hasta entonces habían caracterizado al embrión se convierten en los propios del adulto, mientras que desaparecen los que previamente caracterizaban al adulto. Este proceso constituye una de las grandes estrategias de la evolución. Es como si algunos animales fuesen capaces de desprenderse de la parte final de su vida para volver a construir un nuevo ciclo basado en las formas de la larva o del embrión. Muy posiblemente sea un mecanismo de ese tipo el que ha dado lugar a la aparición de los vertebrados a partir de algún invertebrado marino. Este proceso parece haber desempeñado también un papel trascendente en la vía que conduce al hombre. El embrión humano se desarrolla según un esquema de “retraso” que conserva, en el adulto, una serie de rasgos que, en los demás primates y los antepasados del hombre, son característicos de estadios anteriores. A este respecto, es sorprendente observar que los seres humanos se parecen mucho más a un chimpancé joven que a un chimpancé adulto. Evidentemente, el hombre no procede de los grandes simios. Desde que se separaron las ramas evolutivas que llevan al hombre o a los grandes simios, cada una de ellas ha seguido su propio camino evolutivo adaptándose a vías distintas. Y, sin embargo, el antepasado común se parecía más a los monos que al hombre. El hecho de conservar durante la infancia el modo de expresión de los genes que caracterizan al embrión es lo que probablemente ha favorecido la evolución de rasgos tan típicamente humanos como una mandíbula reducida, caninos pequeños, piel desnuda y postura erguida. Además, este esquema de retraso, esta dilatación de la infancia, parece estrechamente vinculado a los demás rasgos propios del proceso de hominización gracias al reforzamiento de los vínculos familiares derivado de la necesidad de que los padres se ocupen durante tanto tiempo de sus pequeños. Como afirmaba recientemente Stephen Gould<sup>(12)</sup>, es difícil comprender que ese conjunto de propiedades que

caracterizan a la humanidad hayan podido conformarse al margen de un contexto de desarrollo retardado. Por consiguiente, la diversificación y la especialización de los Mamíferos viene dada no por la aparición de constitutivos nuevos, sino por una utilización distinta de los ya existentes. Unos pequeños cambios en los circuitos de regulación que coordinan el desarrollo del embrión son suficientes para modificar la tasa de crecimiento de los distintos tejidos o el tiempo de síntesis de ciertas proteínas, acelerando unas, retrasando otras.

La evolución se describe en términos filogenéticos, o sea, de diferencias entre organismos adultos. Pero las diferencias entre adultos sólo reflejan diferencias entre los procesos de desarrollo que culminan en esos adultos. La selección natural se produce mediante una red de restricciones o condicionamientos impuestos al desarrollo, filtrando los fenotipos que se producen a partir de los genotipos posibles. Para comprender la esencia de los procesos evolutivos, hay que comprender primero el desarrollo embrionario. Y sólo entonces pueden valorarse los cambios compatibles con el plan de organización y el funcionamiento de un organismo, y definir las reglas y las restricciones del juego de la evolución. Desgraciadamente, todavía sabemos muy poco acerca del desarrollo del embrión.

Los biólogos pueden describir con mucho detalle las características de una rata, por ejemplo. Pueden explicar cómo se desplaza, cómo respira, cómo digiere. Pero no saben nada en absoluto de cómo se forma a partir de una célula germinal. Un hombre tiene aproximadamente de diez a cien billones de células, y una rata unos cien mil millones de células. Todas las células de un individuo descienden directamente de una misma célula, el óvulo fecundado, aunque no por ello dejan de tener propiedades distintas y de cumplir funciones distintas. Se dice a menudo que los cromosomas del óvulo fecundado contienen una descripción del futuro adulto codificada en la secuencia lineal del ADN. Según las ideas actualmente vigentes, lo que está codificado en los cromosomas es el plan de construcción de ese adulto, el conjunto de instrucciones necesarias para fabricar sus estructuras moleculares según un programa riguroso en el espacio y en el tiempo. Pero la lógica interna que rige la realización de este programa sigue siendo desconocida. En general, se admite que un “diablo” de Laplace capaz de examinar el óvulo fecundado, sus estructuras moleculares y su organización, sería también capaz de describir al futuro adulto. Pero todavía ignoramos por completo el tipo de moléculas que ese “diablo” tendría que examinar además del ADN, así como el tipo de algoritmo que necesitaría utilizar.

Pues la única lógica que pueden dominar los biólogos es unidimensional. Al añadir una segunda dimensión, y más todavía una tercera, dejan de sentirse cómodos. La biología molecular ha progresado rápidamente debido a que en biología la información aparece determinada por secuencias lineales de subunidades, las bases en los ácidos nucleicos y los aminoácidos en las proteínas. El mensaje genético, la relación entre estructuras primarias, el código, las cadenas del metabolismo, los bucles de regulación, en definitiva, toda la lógica de la herencia resultaba de una sola dimensión. Por consiguiente, no es de extrañar que los biólogos moleculares se resistan a abandonar este tipo de trabajo y continúen estudiando un mundo unidimensional, analizando secuencias de proteínas y de ADN.

Pero el embrión se desarrolla en un mundo que ya no es lineal. La estructura unidimensional de los genes determina la producción de capas celulares bidimensionales; éstas se pliegan de una manera precisa dando lugar a tejidos y órganos tridimensionales; y éstos dan forma al organismo, inducen sus propiedades y, según la formulación de Seymour Benzer, su comportamiento cuatridimensional<sup>(13)</sup>. La manera en que se lleva a cabo todo esto sigue siendo un misterio. Los biólogos conocen con

gran detalle la anatomía molecular de una mano humana, pero ignoran por completo la manera en que el organismo se dicta a sí mismo las instrucciones para construir esa mano, el lenguaje que utiliza para designar un dedo, el procedimiento para esculpir una uña, el número de genes que intervienen, las interacciones de esos genes, etc. El desarrollo y la diferenciación molecular pueden considerarse como los efectos de una serie de decisiones binarias, cada una de ellas con capacidad para determinar las posibilidades abiertas a la siguiente. En cada ramificación, por tanto, quedaría eliminado todo un conjunto de posibilidades. En general, se admite que un proceso de ese tipo implica una regulación selectiva de la actividad de los genes. Pero desconocemos incluso los principios que informan los circuitos reguladores del número de células, su distribución y sus movimientos, el ritmo y la dirección de su crecimiento. Desconocemos las herramientas que el desarrollo del embrión proporciona al bricolaje de la evolución.



Con todo hemos aprendido a imitar algunos de los procesos naturales y, en concreto, a hacer bricolaje con el ADN en el laboratorio. Hemos aprendido a cortar ese ADN y a hacer nudos en él, a añadir o quitar fragmentos en cualquier punto. Sabemos aislar algunos genes estructurales, producirlos en masa y analizar su anatomía hasta el último detalle. El conjunto de ese trabajo con el ADN recombinante supone, de alguna manera, el triunfo de nuestra biología unidimensional. Proporciona una herramienta nueva para el estudio de ciertos aspectos de la biología fundamental o aplicada.

Para producir en gran cantidad un gen, un gen humano, por ejemplo, hay que insertarlo en la dotación genética de una bacteria y proceder a un cultivo a gran escala de dicha bacteria. Ese tipo de trabajos ha suscitado mucha hostilidad y apasionamiento. Se les ha acusado de atentar contra la calidad de vida e incluso de poner en peligro la vida humana. La ingeniería genética se ha convertido en una de las causas principales de desconfianza hacia la biología. Junto con otras investigaciones –estudios sobre fetos, sobre el comportamiento, la psicocirugía o la clonación de políticos–, a los trabajos sobre ADN recombinante se les acusa de otorgar a los biólogos el poder de deteriorar el cuerpo y el espíritu humanos. Ciertamente, las innovaciones científicas pueden servir para lo mejor y lo peor, ser al mismo tiempo fuente de males y de bienestar. A pesar del Dr. Frankenstein y el Dr. Extrañoamor, los genocidios que han ocurrido a lo largo de la historia se deben más a los políticos y sacerdotes que a los científicos. Y el mal no sólo procede de aquellas situaciones en las que se utiliza intencionadamente la ciencia con fines destructivos. También puede ser la consecuencia lejana e imprevisible de acciones efectuadas, en principio, para el bien de la humanidad. ¿Quién podía prever que los avances de la medicina facilitarían la superpoblación? ¿O que la diseminación de gérmenes resistentes a los antibióticos resultaría del propio uso de dichos medicamentos? ¿O que la contaminación sería el resultado de la utilización de abonos para mejorar las cosechas? Son toda una serie de problemas para los que se han encontrado soluciones, o se encontrarán en el futuro.

Con el ADN recombinante, todo ocurrió en sentido contrario. Se predijo un apocalipsis, pero nunca llegó. El hecho de que ese trabajo haya suscitado polémicas interminables no sólo se debe a los peligros que se han puesto de manifiesto y que no superan las fronteras de lo que permiten dominar la manipulación de bacteria y virus patógenos desde hace tiempo, sino la idea de que pueden extraerse genes de un organismo e implantarlos en otro. Eso es lo que molesta. La propia noción de ADN

recombinante está relacionada con lo misterioso y lo sobrenatural. Evoca algunos de los viejos mitos que hunden sus raíces en lo más profundo de la angustia humana. Ha hecho resurgir el terror asociado con el significado oculto de los monstruos, la revulsión provocada por la idea de dos seres unidos contra natura.

Durante siglos, en las representaciones del Juicio Final han proliferado las imágenes de monstruos aterradores. Así ocurre, por ejemplo, en la obra de Hieronymus Bosch. El lugar del tormento, que el Bosco asocia en su pintura con el Infierno, está poblado de monstruos más horribles y espantosos que fue capaz de imaginar. Esos monstruos son fundamentalmente híbridos contra natura. Para sufrir lo que se presenta como uno de los castigos más terribles del Infierno, los pecadores quedan desnudos frente a seres repugnantes, híbridos de rata y pez, de perro y ave, o de insecto y hombre; enormes monstruos al acecho de sus víctimas, devorándolas, precipitándolas en horribles máquinas de tortura; inmundas bestias que comen, muerden, descuartizan, arañan, agotan y desgarran a los hombres. Esos híbridos suponen, primero, una dislocación del cuerpo y, después, una recombinación de sus partes. Es como si, para crear angustia, el Bosco hubiese opuesto a la armonía, al orden de nuestro mundo el desorden de un antimundo.

Los trabajos sobre el ADN recombinante reavivan viejas pesadillas. Tienen un regusto a saber prohibido. Despiertan viejos mitos, en los que esos mortales fueron duramente castigados por haber obtenido un poder reservado a los dioses. Sobremanera escandalosa resulta la prueba de que puede jugarse tan fácilmente con la sustancia que constituye la base de cualquier tipo de vida sobre nuestro planeta. Es realmente imperdonable la idea de que debe considerarse como un resultado del bricolaje cósmico lo que sigue siendo el problema más desconcertante y el relato más sorprendente: la formación de un ser humano; el proceso según el cual, mediante la unión de un espermatozoide y un óvulo, se desencadena la división de la célula huevo, que se transforma en dos células, luego en cuatro, luego en una pequeña bola (blástula), luego en un pequeño saco (gástrula). Y después, en alguna parte de ese pequeño cuerpo en crecimiento, se individualizan algunas células que se multiplican hasta formar una masa de decenas de miles de millones de células nerviosas. Y gracias a esas células, conseguimos aprender a hablar, leer, escribir y contar. Con esas células logramos tocar el piano, cruzar una calle evitando algún posible accidente o ir a dar una conferencia al otro extremo del mundo. Todas esas capacidades están integradas en nuestra pequeña masa de células, toda la gramática, la sintaxis, la geometría, la música. Y no tenemos la más mínima idea de cómo se construye todo eso. En mi opinión, es la historia más sorprendente que pueda explicarse sobre la Tierra. Mucho más sorprendente que cualquier novela policíaca o cualquier relato de ciencia ficción.

## REFERENCIAS

- (1) J. Fernel, "De abditis rerum causis", en *Opera*, vol. 1 (Ginebra, 1637).
- (2) A. Paré, *Oeuvres Complètes*, vol. 1 , *Le premier livre de l'anatomie* (París, 1840).
- (3) Véase R. E. Dickerson, "Cytochrome c and the Evolution of Energy Metabolism", *Scientific American*, 242 (1980): 136-153 ; (Versión española: *Investigación y Ciencia*, 44 (mayo 1980) : 76 y ss.).
- (4) G. C. Simpson, "How many Species?", *Evolution*, 6 (1952): 342.
- (5) Dada la aceptación generalizada de la palabra "bricolaje", hemos optado por traducir bricoleur como "experto en bricolaje", pues ningún vocablo castellano recoge exactamente el sentido del francés. Para mayores precisiones sobre el origen y uso, véase la obra de Claude Lévi-Strauss *El pensamiento salvaje*, versión castellana de Francisco González Aramburo, F.C.E., México, 1964, pág. 35 y siguientes. (Nota de la Redacción).
- (6) C. Lévi-Strauss, *La pensée sauvage* (Plon, París, 1962).
- (7) Ch. Darwin, *The Various Contrivances by which Orchids are Fertilized by Insects* (D. Appleton, Nueva York, 1886).
- (8) M. Ghiselin, *The Triumph of the Darwinian Method* (University of California Press, Berkeley, 1969).
- (9) E. Mayr, "From Molecules to Organic Diversity", *Fed. Proc. Am. Soc. Exp. Biol.*, 23 (1964): 1231-1235.
- (10) P. McLean, "Psychosomatic Disease and the Visceral Brain", *Psychosom. Med.*, 11 (1949): 338-353.
- (11) M. C. King y A. C. Wilson, "Evolution at Two Levels in Humans and Chimpanzees", *Science*, 188 (1975): 107-116.
- (12) S. J. Gould, *Ontogeny and Philogeny* (Harvard University Press, Cambridge, Mass., 1977).
- (13) S. Benzer, "The Genetic Dissection of Behavior", *Scientific American*, diciembre de 1973, pp. 24-37.

### 3

## El tiempo y la invención del porvenir

No enseñes a los monos a subir a los árboles.

Confucio

Una de las diosas más atrayentes de la mitología griega es Eos, la Aurora. Al finalizar la noche, Eos, “la de rosáceos dedos y ropas de azafrán”, como canta Homero, se levanta de su lecho en el este y con su carro tirado por los caballos Lampos y Faetón se dirige al Olimpo, donde anuncia la inminente llegada de su hermano Apolo. Un día Afrodita montó en cólera al encontrar a Ares, por quien tenía “una pasión obstinada”, en el lecho de Eos: condenó a ésta a codiciar eternamente jóvenes mortales. Posiblemente por esa razón Eos nos parece tan atractiva. Desde entonces, y pese a estar casada con Astracos, Eos empezó en secreto, y no sin vergüenza, a seducir a muchos hombres jóvenes: primero fue Orión, hijo de Poseidón, uno de los mortales más apuestos; después Céfalos, quien rechazó educadamente sus favores argumentando que no podía engañar a su mujer Procris. Eos le metamorfoseó en otro hombre por quién Procris se dejó seducir sin dificultad. Céfalos dejó entonces de oponer resistencia a los deseos de Eos. Más tarde Eos raptó a Cleitos, nieto de cierto Melanos, que fue el primer mortal a quien se le concedió el don de ser profeta, el primero en ejercer la medicina y, mejor todavía, el primero en cortar el vino con agua. Luego Eos sedujo a Ganímedes y Titonos, hijos del rey Tros, que dio nombre a la ciudad de Troya. Ganímedes era considerado el adolescente más bello de la Tierra. Por esa razón la asamblea de los dioses le eligió para convertirse en el copero de Zeus. También fue amante favorito de Eos. Pero Zeus, cuando empezó a desear a Ganímedes, se lo robó a Eos disfrazándose de aguilá. Como contrapartida, Eos suplicó a Zeus que concediese la inmortalidad a su otro amante, Titonos. Así lo hizo el gran Zeus. Pero se produjo una situación desagradable cuando Eos se dio cuenta de que en la solicitud de vida eterna había

olvidado incluir la solicitud de juventud eterna. Titonos fue haciéndose cada vez más viejo, canoso y lleno de arrugas. Y, peor aún, empezó a hablar incansablemente con una voz cada vez más temblorosa. A la larga, Eos, “la de rosáceos dedos” se cansó de cuidarle. Por desgracia, la inmortalidad que se le había concedido ya no pudo borrarse. Eos, abrumada por la situación, transformó a Titonos en una cigarra que guardó en una caja. Si fuese posible separar esas dos pesadillas, la muerte y el envejecimiento, entonces el destino de Titonos parece peor todavía que el destino inverso: el de Dorian Gray, que es mortal pero se mantiene joven, mientras que su imagen acusa progresivamente los síntomas del envejecimiento.

No comprendemos todavía el mecanismo del envejecimiento. Resulta en verdad sorprendente que un organismo complejo, formado por un proceso de morfogénesis extraordinariamente complicado, sea incapaz de realizar una tarea que parece mucho más sencilla, mantener en su estado lo que ya existe. La senescencia corresponde a la decadencia que, tras la madurez, afecta progresivamente con la edad a la capacidad de reproducción y supervivencia. Consiste no sólo en la degradación de un sistema concreto, sino en el deterioro de todo el cuerpo. Hace unas décadas, la senescencia se atribuía a un descenso de la producción de ciertas hormonas, en concreto hormonas sexuales. Para lograr el rejuvenecimiento de las personas de edad, tendría que bastar con implantarles gónadas de monos jóvenes. Desgraciadamente, nunca se produjo ese milagro. La mayoría de las investigaciones se basan en la idea de que en definitiva, podrá explicarse el envejecimiento por la modificación de un solo proceso fisiológico, o a lo sumo de un número muy pequeño de ellos. Pero esa idea parece cada vez menos probable. Como los demás fantasmas científicos, como el movimiento continuo, la fuente de la eterna juventud posiblemente no pertenezca al mundo de lo posible.

La duración máxima de la vida es una característica de cada especie. Viene determinada, por tanto, por el genoma. Se ha llegado incluso a considerar la senescencia como una etapa del programa de desarrollo, pero esa idea ha llegado a precisarse nunca. De nuevo, fue August Weismann<sup>(1)</sup> quien situó la senescencia y lo que se ha denominado “muerte natural” en la perspectiva de la evolución. “Me planteo la muerte como un fenómeno de adaptación –dijo-, ya que una duración infinita del individuo representaría un lujo realmente inoportuno”. Es necesario, pues, que los individuos sean continuamente sustituidos por otros nuevos: “Los individuos desgastados no tienen ningún valor para la especie, e incluso le son nocivos, al ocupar el lugar de los que están más sanos”. Durante mucho tiempo se admitió este argumento de Weismann. Pero aun planteándose el envejecimiento y la muerte desde un punto de vista evolutivo, cometió dos errores. Primero, su argumento es circular, ya que calificar de desgastados e incapaces de reproducirse a los organismos viejos equivale a dar por sentado precisamente lo que hay que explicar. En segundo lugar, Weismann otorga al mecanismo de selección la capacidad de funcionar a nivel de la especie y no del individuo. Y, nuevamente, la selección natural no puede prever ni el porvenir en general ni el destino de una especie concreta. Para Weismann, no sólo los organismos estaban sometidos a una decadencia inevitable, parecida a la degradación de las máquinas, sino que, además la selección natural habría elaborado un mecanismo específico de muerte para eliminar los organismos viejos y, por consiguiente, inútiles. Sin embargo, el envejecimiento y el desgaste mecánico no tienen ningún punto en común. Y a pesar de años y años de investigación, nadie ha sido capaz de demostrar la existencia de lo podría llamarse un “mecanismo de muerte”.

Resulta difícil comprender que la selección natural pueda imponerse a un mecanismo que acorte la vida. En efecto, caso de no existir un mecanismo de muerte específico, cabe pensar que un mecanismo de deterioro lento del organismo tendría que

imponerse a uno rápido. Para evitar esa paradoja, Medawar<sup>(2)</sup> y Williams<sup>(3)</sup> han intentado esgrimir el hecho de que la presión selectiva sólo actúa durante el período de la vida anterior a la reproducción. En cada especie, los organismos más importantes son los que alcanzan la madurez sexual, pues son los que tienen el mayor poder de propagación. Por tanto, la selección natural hará que un organismo alcance su estado óptimo en la época de madurez sexual. Los seres humanos, por ejemplo, alcanzan un máximo de fuerza y resistencia a las enfermedades entre los veinte y los treinta años, siendo mínima la tasa de mortalidad alrededor de los quince años. Un animal parece alcanzar su plenitud durante el período de reproducción, declinando a partir de entonces. Para Medawar y para Williams, deben existir genes que produzcan efectos perjudiciales sobre el organismo, ya sea debido a mutaciones deletéreas, ya sea debido a sus múltiples efectos, algunos benéficos y otros nocivos. La selección natural tendería entonces a acumular los efectos nocivos en esa fase de la vida posterior al período de reproducción. De ahí el deterioro que se produce al final de la vida. Dicho de otro modo, la degradación de la vejez es el precio que se paga por el vigor de la juventud. Por un lado, la velocidad de senescencia aumentaría a medida que se imponen las fuerzas que superan al vigor en la juventud; por otro lado, disminuiría debido a las otras fuerzas que tienden a retrasar los efectos nocivos. Así, lo que ajustaría el proceso de envejecimiento y la duración de la vida sería el equilibrio entre esas fuerzas opuestas. Pero conviene decir que, hoy por hoy, nada sabemos sobre esos hipotéticos genes con efectos nocivos. Todavía son abstracciones.



Con el envejecimiento, la noción de tiempo queda íntimamente ligada a la vida. Para los griegos, el tiempo estaba jalonado por una serie de acontecimientos cíclicos y por la marea interminable de la vida y la muerte. Como dice Homero<sup>(4)</sup>: “Los hombres pasan por la tierra cual hojas; el viento hace caer unas al suelo y el poderoso bosque, al volver la primavera, hace crecer muchas otras; de la misma manera, en los hombres se van sucediendo las generaciones”. Esta noción de destino que se escapa podía aplicarse al conjunto de la realidad y determinaba el ciclo de las estaciones, la periodicidad de las celebraciones y la sucesión de las generaciones: tiempo cósmico, tiempo religioso y tiempo humano. En una fase histórica posterior, para los griegos el tiempo se convertirá en una divinidad llamada Cronos. En la teogonía órfica, por ejemplo, Cronos se situaba en el propio origen del cosmos. Se le representaba como una especie de monstruo polimórfico del que salió el huevo primordial que, al abrirse en dos, dio lugar al cielo y a la tierra primero y a los dioses y a los mortales después.<sup>(5)</sup>

En nuestra propia mitología evolutiva, el tiempo parece desempeñar un papel muy relevante. Se considera como uno de los factores que han modelado el mundo en general y el mundo de los seres vivos en particular. De hecho, la exigencia de un factor tiempo es una de las diferencias características entre la biología y la mayoría de los aspectos de la física. Es curioso, pero no hay un vector tiempo en las teorías que fundamentan la física. En el mundo físico encontramos algunas asimetrías temporales, como la expansión del universo o la propagación de las ondas electromagnéticas a partir de sus fuentes. Pero hasta hace poco las leyes fundamentales de la física, la mecánica cuántica o el electromagnetismo se han considerado simétricas en el tiempo; en la actualidad se piensa en términos muy parecidos. El nacimiento y la muerte de

partículas, por ejemplo, pueden considerarse como procesos estrictamente inversos. La asimetría sólo aparece en fenómenos complementarios. Hasta la aparición de la termodinámica irreversible, una ley asimétrica en el tiempo como la conocida segunda ley, sólo parecía ser cierta de forma aproximada y deducible de leyes simétricas en el tiempo. Las películas que se proyectan en sentido contrario permiten imaginar cómo sería un mundo con el tiempo invertido. Un mundo en el que la leche se separara del café en la taza y ascendiera por el aire hasta el jarro; en el que los rayos de luz abandonan las paredes para converger en un sumidero en lugar de proceder de una fuente; el que una piedra proyectada fuera del agua por la sorprendente confluencia de innumerables gotas recorriera una parábola, aterrizando en la mano de un ser humano. Pero en un mundo en el que el tiempo estuviera invertido, también lo estarían los procesos de nuestro cerebro y la formación de nuestra memoria. Igual ocurriría con el pasado y el porvenir. Y el mundo se nos mostraría exactamente igual que ahora se nos aparece.

A diferencia de la mayor parte de las ramas de la física, la biología incorpora el tiempo como uno de los parámetros más importantes. El vector tiempo aparece por doquier en el conjunto del mundo de los seres vivos, que es el resultado de una evolución temporal. Aparece también en cada organismo que se modifica continuamente en el transcurso de su vida. El pasado y el porvenir representan direcciones totalmente distintas. Todo ser vivo avanza del nacimiento a la muerte. La vida de cada individuo está sometida a un desarrollo según un plan, rasgo que ha ejercido una notable influencia en la filosofía de Aristóteles y, por lo tanto, en toda la cultura occidental, su teología, su arte y su ciencia. La biología molecular ha colmado la laguna que durante mucho tiempo separaba esa característica de los seres vivos, el desarrollo según un plan, y el universo físico. El vector tiempo, necesario allí donde haya vida, está incorporado en la actualidad a nuestra representación del mundo. Es la especialidad de la biología; por así decirlo, su sello.

La mayor parte de los organismos poseen relojes biológicos internos que regulan sus ciclos fisiológicos. Todos poseen sistemas de memoria sobre los que se basan su funcionamiento, su comportamiento e incluso su existencia. Uno de dichos sistemas, el sistema genético, es común a todos los organismos. En definitiva, es la memoria de la especie. Es el resultado de la evolución. Conserva grabada en el ADN, la huella de los acontecimientos que, a lo largo de generaciones, han llevado a la situación actual. Como ya hemos dicho, los genes no sufren directamente las influencias de los avatares de la vida. Los caracteres adquiridos no se transmiten a la descendencia. La experiencia no enseña a la herencia. Y si, en definitiva, el entorno repercute sobre la herencia, esa repercusión siempre circula por el largo y sinuoso camino impuesto por la selección natural.

Los organismos complejos han adquirido otros dos sistemas de memoria. El ajuste de esos dos sistemas está regulado por los genes y su función consiste en tomar nota de ciertos acontecimientos vividos por el individuo. El sistema inmunológico se detectó originalmente por el hecho de que el cuerpo tiene a menudo “recuerdo” de una infección. Desde hace mucho tiempo se sabe que ciertas enfermedades sólo pueden afectar una sola vez a un mismo individuo. En el siglo XV, los chinos trituraban costras secas de personas afectadas por la viruela, obteniendo así un polvo que inhalaban para protegerse de la enfermedad. Tres siglos más tarde, Jenner demostró que la inoculación de la vacuana, enfermedad relacionada pero benigna podía proteger contra una infección posterior de la viruela. Pero el verdadero comienzo de la inmunología como ciencia se produjo el día en que Pasteur, en lugar de inocular un cultivo reciente de bacterias capaz de matar a una gallina en unos días, inyectó, por azar, un cultivo viejo del mismo

germen: la gallina no sólo sobrevivió a la inyección, sino que se hizo inmune a una nueva inoculación de un cultivo virulento.

Un siglo más tarde, el sistema inmunológico ha adquirido una complejidad increíble. Intervienen diversas clases de células muy especializadas, las células linfoides, que se asocian en múltiples combinaciones, directamente de célula a célula o mediante señales químicas. Durante el desarrollo del embrión, el sistema inmunológico aprende a distinguir lo propio de lo que no lo es: se hace capaz de reaccionar contra los componentes de sí mismo que han sido atacados por ciertas enfermedades y contra la irrupción en el cuerpo de moléculas extrañas, los antígenos. El cuerpo responde produciendo y excretando en la sangre anticuerpos que neutralizan el antígeno; también puede responder a través de células especializadas que provocan la destrucción del antígeno, como, por ejemplo, en el rechazo de los injertos. En ambos casos, unos conjuntos de células adquieren el poder de reaccionar contra un número enorme de estructuras gracias a un sistema en el que se asocian fragmentos de información genética, en número limitado, según todas las combinaciones posibles. En ambos casos, las células capaces de reaccionar están presentes y dispuestas a ser activadas al encontrarse con el antígeno. Así, la experiencia de la vida, seleccionando de entre una amplia gama de estructuras preexistentes, permite que el individuo lleve a cabo sus procesos inmunológicos.

El sistema genético y el sistema inmunológico funcionan también como memorias que toman nota del pasado de un de la especie y del pasado del individuo, respectivamente. Pero un ser vivo no sólo es el último eslabón de una cadena ininterrumpida de organismos. La vida es un proceso que no se limita únicamente a tomar nota del pasado, sino que también se orienta hacia el porvenir. Según todos los indicios, el sistema nervioso apareció como un elemento dedicado a coordinar el comportamiento de diversas células en los organismos pluricelulares. Posteriormente se convirtió en una máquina capaz de grabar o recordar ciertos acontecimientos de la vida del individuo. Y, en última instancia, adquirió la capacidad de inventar el porvenir.



Los seres vivos sólo pueden sobrevivir, crecer y multiplicarse mediante un continuo flujo de materia, energía e información. Por tanto, es una necesidad absoluta para cualquier organismo el percibir su medio ambiente, o, al menos, los aspectos de su medio relacionados con sus exigencias vitales. El organismo más sencillo, la bacteria más humilde, debe “saber” el tipo de alimento que se encuentra a su disposición y ajustar su metabolismo en consecuencia. En los microorganismos, la percepción y la reacción están rigurosamente determinadas por los genes. Cada una de ellas se reduce a una sola alternativa: sí o no. Todo lo que puede percibir una bacteria es lo que su programa genético le permite detectar a través de algunas proteínas, cada una de las cuales “reconoce” específicamente un compuesto particular. Para una bacteria, el mundo exterior se reduce a algunas sustancias en solución.

Es evidente que el incremento de posibilidades de realización que conlleva la evolución exige una mejora de la percepción, un enriquecimiento de la información que el organismo recoge del exterior. Los animales tienen muchas formas de explorar el mundo exterior. Algunos lo sienten, otros lo escuchan, otros lo ven. Cada organismo cuenta con dispositivos especiales que le permiten obtener una percepción propia del

mundo exterior. Cada especie vive entonces en su mundo sensorial, del que las demás especies pueden estar total o parcialmente excluidas. Así, por ejemplo, las abejas no son sensibles a la luz roja, pero en cambio perciben la radiación ultravioleta que nosotros no somos capaces de ver. La evolución ha dado lugar a toda una serie de dispositivos específicos, como la detección de objetos por eco de ultrasonidos en el caso de los murciélagos, el órgano electrosensitivo de ciertos peces, el ojo infrarrojo de las serpientes, la sensibilidad de las abejas a la luz polarizada, la sensibilidad de las aves al campo magnético, etc. Todo organismo detecta sólo una parte de su medio ambiente; y esa parte varía según el organismo.

En los vertebrados inferiores, la información sensorial se convierte de manera rígida en información motoneurogena. Estos animales parecen vivir en un mundo de estímulos globales que desencadenan las reacciones adecuadas, lo que los etólogos llaman “mecanismos innatos de respuesta”. Por el contrario, en las Aves y todavía más en los Mamíferos, los órganos sensoriales filtran la enorme cantidad de información procedente del exterior y tratada por el cerebro, que produce una representación simplificada, pero utilizable, del mundo exterior. El cerebro funciona no sólo registrando una imagen exacta del mundo considerado como una verdad metafísica, sino creando su propia imagen.

Para cada especie, el mundo exterior percibido depende tanto de los órganos sensoriales como de la manera que utiliza el cerebro para integrar los acontecimientos sensoriales y motores. Aun cuando especies distintas perciban una misma gama de estímulos, su cerebro puede estar organizado de tal forma que perciban particularidades distintas. La imagen del entorno percibida por especies diferentes puede divergir, según el modo de tratar la información, tan radicalmente como si los estímulos recibidos procediesen de mundos distintos. Por nuestra parte, los seres humanos estamos tan atrapados por la representación del mundo que nos impone nuestro equipo sensorial y nervioso, que nos resulta difícil concebir la posibilidad del mundo de otra manera. Tenemos grandes dificultades en imaginar el mundo de una mosca, de una lombriz o de una gaviota.

Sea cual sea la forma que utilice un órgano para explorar su medio, la percepción que consigue debe reflejar necesariamente la “realidad” o, más específicamente, los aspectos de la realidad ligados directamente a su comportamiento. Si la imagen que se hace un ave de los insectos que ha de llevar a la boca de sus crías no reflejase por lo menos algunos aspectos de la realidad, dejaría de tener crías. Si la representación que se hace el mono de la rama sobre la que quiere saltar nada tuviera que ver con la realidad, dejaría de haber monos. Y si lo mismo nos ocurriese a nosotros, ya no estaríamos aquí para hablar de ello. Percibir algunos aspectos de la realidad es una exigencia biológica. Algunos aspectos tan sólo, pues es evidente que nuestra percepción del mundo exterior sufre un “filtrado” masivo. Nuestros dispositivos sensoriales nos permiten ver si un tigre irrumpe en nuestra habitación, pero no nos permiten detectar la nube de partículas que según los físicos constituyen la realidad del tigre. El mundo exterior, cuya “realidad” nos es conocida de forma intuitiva, parece ser por consiguiente una creación del sistema nervioso. En cierto sentido, es un mundo posible, un modelo que permite que el organismo procese o trate la masa de información recibida y la haga utilizable para la vida cotidiana. Aparece, pues, la necesidad de definir una especie de “realidad biológica” que es la representación concreta del mundo exterior que construye el cerebro de una especie dada. La calidad de esa realidad biológica evoluciona con el sistema nervioso en general y el cerebro en particular.

Hace unos años Harry J. Jerison<sup>(6)</sup> sugirió que, en relación con las posibilidades del comportamiento, la calidad de esa “realidad biológica” bien podría haber constituido

un factor de presión selectiva en el desarrollo cerebral de los Mamíferos. Jerison atribuye al concepto de tiempo uno de los papeles principales. A lo largo de la evolución, el parámetro tiempo debió haber sido incorporado progresivamente a la representación del mundo, ya que difícilmente podía existir en los vertebrados inferiores. Por ejemplo, no parece que los Reptiles sean capaces de percibir el tiempo. La representación espacial la codifica un analizador localizado en la propia retina. Los primeros Mamíferos eran pequeños animales obligados a llevar vida nocturna debido a la presencia de los grandes reptiles, como los dinosaurios, en las mismas zonas. Para poder explorar el entorno a distancia, la vida nocturna llevó a sustituir la visión por el oído y el olfato. De ello derivan dos consecuencias: por un lado, el crecimiento de la región auditiva del cerebro para poder albergar una nueva masa de neuronas que no tenían cabida en el oído; por otro, una nueva forma de tratar la información espacial mediante un código temporal, en cierta manera en el mismo sentido que los murciélagos que disponen de un radar y localizan los objetos emitiendo un sonido y localizando el origen de su eco. Con el tiempo, otras etapas habrían provocado otros aumentos de tamaño del cerebro y otros enriquecimientos de la “realidad biológica” en los Mamíferos.

Tras la desaparición de los reptiles gigantes, los Mamíferos pudieron llevar una vida diurna. Pero no utilizaron el viejo aparato visual de los reptiles, sino un sistema mucho más sofisticado y evolucionado, con visión en colores y analizadores situados en el cerebro y no en la retina. La información visual y la información auditiva pudieron ser integradas, gracias a un código espacial y temporal único que permite atribuir el origen de los estímulos luminosos y sonoros a fuentes comunes, es decir, a objetos que perduran en el tiempo y en el espacio. El cerebro de los mamíferos puede tratar la formidable cantidad de información que recibe en estado de vigilia debido a que esa información se halla organizada en masas, en cuerpos que constituyen los “objetos” del mundo espacio-temporal del animal, o sea, los propios elementos de su experiencia cotidiana. En efecto, resulta posible conservar la identificación de un objeto a pesar de que la percepción se modifique continuamente en el espacio y en el tiempo.

De igual forma pueden analizarse las etapas de encefalización que han culminado en el Homo sapiens. También en este caso, a lo largo del proceso se enriqueció la representación mental del mundo exterior. Y también en este caso, según Jerison, hay que atribuir al tiempo uno de los papeles más destacados, pues la presión selectiva que se ejerció sobre los Homínidos debió favorecer una localización espacial a través de la audición para permitir una mejor detección de las fuente sonoras. De ahí resultó una imagen más integrada y más coherente de un mundo espacio-temporal en el que era posible ver, entender, sentir y tocar los objetos en movimiento. La forma de organización de esa representación acarrea algunas consecuencias, especialmente para dos de las propiedades más notables del cerebro. Por un lado, las imágenes memorizadas de acontecimientos pasados pueden fragmentarse en sus distintos componentes para ser posteriormente recombinadas y producir representaciones hasta entonces desconocidas y situaciones nuevas; de ahí la capacidad no sólo de conservar las imágenes de acontecimientos pasados, sino de imaginar acontecimientos posibles y, por ende, de inventar el porvenir. Por otro lado, al combinar la percepción auditiva de las secuencias temporales con ciertos cambios del aparato sensoriomotor de la voz, resulta posible simbolizar y codificar esa representación cognoscitiva de manera totalmente nueva. De acuerdo con este enfoque, el sistema de comunicación entre individuos se habría establecido de manera secundaria a través del lenguaje, como afirman bastantes lingüistas. Su primera función habría sido, como en las etapas evolutivas paralelas a la aparición de los primeros mamíferos, la representación de una

realidad más compleja y más rica, una forma de tratar más información con mayor eficacia. Todo el reino animal pone de manifiesto la facilidad con que puede establecerse la comunicación entre individuos. Incluso entre homínidos que debían cazar y vivir en comunidad, bastaba con códigos sencillos para manejar la mayor parte de la información de los hechos inmediatos de la vida que debían compartir. Por el contrario, traducir un mundo visual y auditivo de tal forma que los objetos y los acontecimientos sean designados con precisión y reconocidos semanas o años más tarde, exige un sistema de codificación mucho más elaborado. Lo que al parecer proporciona al lenguaje su carácter único no es tanto que sirva para comunicar directrices para la acción sino que permita la simbolización, la evocación de imágenes cognoscitivas. Construimos nuestra “realidad” con nuestras palabras y nuestras frases, al igual que la construimos con nuestra vista y nuestro oído. La flexibilidad del lenguaje humano es también una herramienta sin igual para el desarrollo de la imaginación. Se presta a la combinatoria ilimitada de los símbolos. Permite la creación mental de mundos posibles.

Según ese punto de vista, cada uno de nosotros vive en un mundo “real” construido por nuestro cerebro con la información aportada por los sentidos y el lenguaje. Ese mundo real es el escenario en el que tiene lugar los acontecimientos de una vida. La experiencia a la que se encuentra expuesto el cerebro durante la vida varía de un individuo a otro. A pesar de ello, las representaciones del mundo que crean estas experiencias son lo suficientemente parecidas como para poder ser comunicadas mediante palabras. La conciencia podría considerarse como la percepción de sí mismo en tanto que “objeto” situado en el centro mismo de la “realidad”. La existencia de sí mismo considerado como objeto: ésa es sin duda una de las intuiciones más profundamente ancladas en nuestra persona. Resulta difícil determinar en qué estadio de la evolución puede detectarse un inicio de conciencia de sí mismo. Tal vez una indicación nos la dé la capacidad de reconocerse en un espejo. Y esa capacidad sólo aparece en un cierto nivel de complejidad en la evolución de los Primates. Cuando se combina con el poder de formar imágenes de la “realidad”, de recombinarlas, de elaborar mediante la imaginación una representación de mundos posibles, la conciencia de sí mismo proporciona al ser humano el poder de reconocer la existencia de un pasado, de un tiempo anterior a su propia vida. También le permite imaginar mañanas, inventar un porvenir que contiene su propia muerte e incluso un tiempo después de su muerte. Le permite sustraerse a lo actual y crear un posible.

La vieja tradición epistemológica, que goza todavía del favor de muchos intelectuales, especialmente europeos, se basaba en primer lugar en la introspección. Según ella, los acontecimientos mentales no pueden ser del mismo género que los acontecimientos físicos. Por tanto, es difícil entender que haya podido surgir un espíritu inmaterial de un proceso por selección natural. Y conferir una especie de psique o alma a las partículas constitutivas de la materia no arregla nada; en consecuencia, resulta difícil sustraerse a la conclusión de que el “espíritu” es un producto de la organización del cerebro, de la misma manera que la “vida” es un producto de la organización de las moléculas. No está nada claro que algún día podamos llegar a saber cómo de un universo inerte surgieron seres vivos. Ni que podamos comprender jamás la evolución del cerebro y la aparición de ese conjunto de propiedades que resulta difícil definir, pero que llamamos pensamiento.

Cualquier intento de describir la evolución del cerebro y del espíritu no puede ser más que una historia sencilla, un escenario. De hecho, se pueden proponer escenarios muy diversos según los argumentos –psicológicos, etológicos, neurológicos, paleontológicos, etc. –a los que se asigne mayor importancia. La historia que explica

Jerison se basa fundamentalmente en datos paleoneurológicos, en los tamaños relativos del cerebro y del cuerpo en especial. Estos elementos, que se derivan del estudio de los vertebrados fósiles, permiten reconstruir las principales etapas del proceso de encefalización. La hipótesis de Jerison nos parece particularmente atractiva debido a que utiliza el mismo elemento, la recogida de información sobre el mundo exterior y la representación de la realidad, como factor de presión selectiva persistente a lo largo de toda la evolución de los Mamíferos, incluidos los Homínidos. Incluso algunas actividades humanas, entre ellas las artes, la creación de mitos o las ciencias naturales en la misma dirección. En cierto sentido, las artes constituyen esfuerzos para comunicar por diversos medios ciertos aspectos de una representación privada del mundo. La creación de mitos pretende, entre otras cosas, integrar parcelas de información sobre el mundo en una representación pública con un mínimo de coherencia. En cuanto a las ciencias de la naturaleza, representan una forma ya antigua, pero renovada a fines del Renacimiento, de precisar esa representación pública del mundo y de aportar una visión más exacta de la realidad. Todas esas actividades requieren el concurso de la imaginación humana. Todas se producen recombinando fragmentos de realidad para crear estructuras nuevas, situaciones nuevas, ideas nuevas. Y un cambio en la representación del mundo puede inducir un cambio en el mundo físico, como ponen de relieve los efectos de los desarrollos tecnológicos.



Casi todo lo que caracteriza a la humanidad se resume en la palabra “cultura”. La transmisión de los rasgos culturales tiene analogía nada superficial con la de los rasgos biológicos. Incluso se denomina a veces “herencia cultural”. La principal semejanza entre los dos sistemas es su tendencia natural al conservadurismo, con posibilidad de cambio y, por consiguiente, de evolución. Pero los rasgos culturales se propagan según un mecanismo tipo lamarquiano. Por tanto, la evolución cultural puede producirse a una velocidad superior en varios órdenes de magnitud a la de la evolución biológica. Por su biología, el ser humano del siglo XX no difiere sustancialmente del que vivió hace treinta mil o cuarenta mil años. Sin embargo, el mundo cultural, social y tecnológico en que muere un ser humano en este fin de siglo poco tiene que ver con el mundo en que nació.

Cuanto más asuntos humanos aborde un campo científico, mayor probabilidad tiene de que sus teorías entren en conflicto con las tradiciones y las creencias adquiridas. Y, también, más posibilidades hay de que sean manipulados los datos que aporta la ciencia con fines ideológicos y políticos. Es lo que ocurre en la actualidad con la biología, en la que parece reavivarse una vieja polémica acerca del peso relativo de lo innato y lo adquirido en ciertas aptitudes de los seres humanos. En los organismos menos evolucionados, el comportamiento queda totalmente determinado por los genes. En los organismos más complejos, el programa genético no condiciona tanto, es más “abierto”, según una expresión de Ernst Mayr<sup>(7)</sup>, en el sentido de que no prescribe con detalle los diferentes aspectos del comportamiento, sino que deja al organismo algunas posibilidades de elección. En lugar de imponer instrucciones rígidas, confiere al organismo potencialidades y capacidades. Esta “apertura” del programa genético

aumenta en el transcurso de la evolución hasta culminar en la humanidad. Los cuarenta y seis cromosomas del ser humano le proporcionan toda una serie de aptitudes físicas o mentales que puede explotar y desarrollar de formas muy diversas según el medio y la sociedad en los que crece y vive. Por ejemplo, la capacidad de hablar le viene dada al niño por la dotación genética, pero es su medio el que le enseña una lengua y no otra. Al igual que cualquier otro rasgo, el comportamiento de un ser humano se va elaborando mediante una incesante interacción de los genes y del medio.

Esta independencia de lo biológico y de lo cultural se subestima demasiado a menudo, cuando no resulta negada pura y simplemente, por razones ideológicas y políticas. En vez de considerar esos dos factores como complementarios e indisolublemente ligados en la formación del ser humano, se intenta oponerlos entre sí. En la herencia y en el medio se pretenden ver dos fuerzas antagónicas cuya importancia relativa se trataría de valorar en el comportamiento y en las aptitudes del individuo. Como si, en la génesis del comportamiento humano y sus trastornos, esos dos factores tuvieran que excluirse mutuamente. En los debates sobre la escuela, la psiquiatría o la condición de los sexos, tienden a contraponerse dos posiciones extremas: dos actitudes que, utilizando el símil de las máquinas musicales, consideran el cerebro como una cinta magnética virgen o como un disco de fonógrafo. Una cinta magnética recibe del medio instrucciones para grabar y, si se desea, reproducir cualquier fragmento musical; por el contrario, un disco sólo puede reproducir un fragmento grabado en sus surcos, sea cual sea el medio que lo rodea.

Los defensores de la cinta magnética están a menudo influenciados por la ideología marxista, según la cual el individuo está totalmente condicionado por la clase social a la que pertenece y por su educación. Para ellos, las aptitudes mentales del ser humano no tienen nada que ver con la biología y la herencia. Todo se explica en términos de cultura, sociedad, aprendizaje, condicionamiento, esfuerzo y modo de producción. En consecuencia, desaparece todo tipo de diversidad, cualquier diferencia de orden hereditario en las aptitudes y los talentos de los individuos. Tan sólo cuentan las diferencias sociales y las diferencias de educación. La biología y sus condicionamientos se inclinan ante el cerebro humano. Presentada de esta manera tan radical, dicha postura resulta simplemente insostenible. El aprendizaje no es más que la aplicación de un programa que permite adquirir ciertas formas de conocimiento. No se puede construir una máquina para aprender sin inscribir en su programa las condiciones y las modalidades de ese aprendizaje. Una piedra no aprende, y animales distintos aprenden cosas distintas. El niño pasa por diferentes etapas de aprendizaje muy definidas. Y los datos de la neurobiología demuestran que los circuitos nerviosos que subyacen a las capacidades y aptitudes del ser humano vienen determinados, por lo menos en su mayor parte, desde el nacimiento. En cierto sentido, los defensores de la cinta magnética se comportan como los vitalistas del siglo XX. Para éstos, los seres vivos actuaban no según las leyes de la física y la química que rigen las propiedades de los cuerpos inertes, sino según una misteriosa fuerza vital. En la actualidad, esa fuerza vital ha desaparecido. Como los cuerpos inertes, los seres vivos obedecen a las leyes de la física y de la química. Pero además obedecen otro tipo de leyes; tienen que satisfacer otros requerimientos como la nutrición, la reproducción, etc., que carecen de sentido en el mundo de lo inanimado. Igualmente, en el ser humano, a los factores biológicos se superponen factores psíquicos, lingüísticos, culturales, sociales, económicos, etc. No se puede explicar algo tan complejo como el cerebro humano con una sola disciplina o saber, ni con una serie de saberes fragmentarios con sus coeficientes respectivos, según su importancia relativa. El estudio del hombre no puede reducirse a la biología, pero

tampoco puede prescindir de ella, al igual que la biología no puede prescindir de la física.

Igualmente insostenible nos parece la actitud opuesta, la del disco de fonógrafo. Ese punto de vista, que a menudo está relacionado con una filosofía conservadora, conlleva formas diversas de racismo y fascismo. Atribuye a la herencia del ser humano la casi totalidad de sus aptitudes mentales, y niega prácticamente cualquier influencia del medio, despreciando así toda esperanza de mejora mediante el adiestramiento y el aprendizaje. Durante el lapso de tiempo en que el mundo apareció como un producto de la creación divina, la “naturaleza humana” sólo era un aspecto de la armonía general del universo. Dios había otorgado un conjunto de propiedades a la humanidad y había fijado las reglas que rigen la conducta de los asuntos humanos según una jerarquía social, económica y política muy precisa. Cuando la creación fue abandonada por la evolución, los defensores del statu quo en materia social se vieron obligados a buscar otro argumento que sustituyese a la voluntad divina. Se invocaron los condicionamientos biológicos como garantía científica que impone al comportamiento humano. Pues si las realizaciones de un individuo no son sino el reflejo de sus potencialidades genéticas, las desigualdades sociales proceden directamente de las desigualdades biológicas. Entonces es inútil soñar siquiera en modificar la jerarquía social.

En una versión más moderna, esta concepción del disco genético busca puntos de apoyo en dos campos. El primero es el tipo de reduccionismo practicado por los sociobiólogos más ingenuos, que entienden el espíritu humano como una máquina genéticamente programada hasta sus más mínimos detalles. El segundo campo se basa en la medición de lo que se llama el cociente de inteligencia (CI), y su capacidad de ser transmitido por la herencia, en estudios realizados especialmente comparando los resultados de gemelos univitelinos y bivitelinos.

El significado del CI, lo que mide, la posibilidad de imaginar pruebas exentas de cualquier condicionamiento cultural, son algunos de los temas que han sido objeto, y siguen siéndolo todavía, de apasionados debates. Sin pretender entrar en ellos, desearía limitarme a señalar la sorpresa que causa al biólogo el principio del CI. ¿Cómo puede pensarse en cuantificar lo que se llama inteligencia global –concepto que ni siquiera se llega a definir con claridad y que comprende elementos tan dispares como la representación propia del mundo y de las fuerzas que lo rigen, la capacidad de reacción ante coyunturas diversas en condiciones diversas, la amplitud de miras, la rapidez en captar todos los elementos de una situación y en adoptar una decisión, el poder de detectar las analogías más o menos ocultas, de comparar aquello que en primera instancia no es comparable, y muchas otras cualidades- , cómo puede pensarse, decía, en cuantificar ese conjunto de propiedades tan complejas mediante un parámetro que varía linealmente en una escala de 50 a 150? ¿Cómo si lo importante en la ciencia fuese el medir, independientemente del objeto de las mediciones! ¿Cómo si en el diálogo entre la teoría y la experimentación, esta última tuviera prioridad! Los datos experimentales sólo pueden adquirirse y cobrar significado en función de esa teoría. El carácter emotivo de la controversia entre la herencia y el medio, entre genetistas y ambientalistas, tiene uno de sus ejemplos más ilustrativos en ciertos descubrimientos recientes relacionados con lo que durante mucho tiempo los partidarios más acérrimos del factor hereditario han considerado como uno de sus argumentos más sólidos: los resultados obtenidos por el psicólogo británico Cyril Burt sobre el CI de gemelos. Se ha podido comprobar que estos datos, por lo menos en parte, habían sido manipulados<sup>(8)</sup>.

De hecho, la biología no tiene mucho que decir acerca del comportamiento del ser humano o acerca de los componentes genéticos de sus aptitudes mentales. El método

de la genética consiste, a partir de lo que se ve, de sus caracteres observables, el denominado fenotipo, en deducir lo que está oculto, el estado de los genes, el denominado genotipo. Este método funciona perfectamente cuando el fenotipo refleja más o menos directamente el genotipo. Así ocurre, por ejemplo, con los grupos sanguíneos o con ciertas malformaciones hereditarias que pueden estudiarse de generación en generación. Otro ejemplo nos lo proporcionan algunas enfermedades al parecer relacionadas con la constitución genética del individuo. Lo más frecuente es que esta relación no tenga un carácter de correlación completa e inexorable, sino de probabilidad de aparición: a igualdad de condiciones de vida, un tipo concreto de cáncer o de artritis aparecerá con mayor frecuencia en los portadores de ciertos genotipos que en otros. Por el contrario, los métodos de la genética no se aplican fácilmente al estudio del cerebro humano y a sus realizaciones. En principio, podrían concebirse experiencias de selección artificial y medidas de la capacidad de transmisión hereditaria. Pero la selección artificial no puede realizarse en el hombre. Además, las realizaciones intelectuales que se pueden observar en un individuo no reflejan directamente el estado de sus genes, sino el estado de numerosas estructuras que intervienen entre el genotipo y el fenotipo, estructuras ocultas en las zonas más profundas del cerebro y que funcionan a muy diversos niveles de integración. Desconocemos totalmente la relación que tienen esas estructuras con los genes y no tenemos acceso experimental a ellas. Es evidente que la herencia desempeña un papel en la elaboración de esas estructuras: conocemos los estragos que pueden provocar algunas mutaciones y anomalías cromosómicas en las realizaciones humanas. Es igualmente evidente que, por su parte, el medio tiene una gran importancia en el desarrollo de tales estructuras: también conocemos los estragos que provoca la falta de atención y de afecto en un niño.

Al nacer, todo niño normal posee la capacidad de crecer en cualquier comunidad, de hablar cualquier lengua, de adoptar cualquier religión, cualquier convención social. Lo más verosímil es que el programa genético haga aparecer lo que podrían llamarse *estructuras de acogida o acomodación* que permitan al niño reaccionar ante los estímulos procedentes de su medio, buscar y detectar las regularidades, memorizarlas y recombinar de manera diversa sus elementos. Con el aprendizaje se van seleccionando y elaborando poco a poco esas estructuras nerviosas. Las estructuras nerviosas que posibilitan las realizaciones mentales consiguen madurar y organizarse gracias a una interacción constante entre lo biológico y lo cultural durante el desarrollo del niño. En esas condiciones, carece de sentido atribuir una fracción de la organización final a la herencia y el resto al medio; y tampoco lo tiene preguntarse si la inclinación de Romeo por Julieta tiene un origen genético o cultural. Como todos los organismos vivos, el ser humano está genéticamente programado para aprender. Al nacer, la naturaleza le ofrece un amplio abanico de posibilidades; lo que “actualiza” va construyéndolo lentamente a lo largo de toda su vida mediante la interacción con el medio.

La diversidad de los individuos que genera la reproducción sexual en las poblaciones humanas no suele considerarse como lo que es en realidad: uno de los motores principales de la evolución, un fenómeno natural sin el que no estaríamos en el mundo. Muy a menudo, esa diversidad se considera bien como motivo de escándalo por parte de quienes critican el orden social y quieren hacer equivalentes a todos los individuos, bien como medio de opresión para quienes pretenden justificar ese orden social mediante un pretendido orden natural en el que aspiran a clasificar a todos los individuos en función de la “norma”, o sea, de sí mismos. A pesar de ciertas afirmaciones, la ciencia no determina la política, sino que la política deforma la ciencia y hace de ella un uso incorrecto para buscar justificaciones y coartadas. Por un equívoco

singular, se pretenden confundir dos conceptos que son muy distintos: identidad e igualdad. Uno hace referencia a las cualidades físicas o mentales de los individuos; otro, a sus derechos sociales y jurídicos. El primero se sustenta en la biología y la educación; el segundo, en la moral y la política. La igualdad no es un concepto biológico. Nunca se dice que dos moléculas o dos células son iguales. Ni siquiera dos animales lo son, como recordaba Georges Orwell. Lógicamente, lo que está en juego en este debate es el aspecto social y político, bien porque se desea basar la igualdad en la identidad, bien porque, prefiriendo la desigualdad, se desea justificarla por la diversidad. Como si la igualdad no se hubiese inventado precisamente *porque* los seres humanos no son idénticos. Si fuesen tan parecidos como los gemelos univitelinos, la idea de igualdad carecería de interés. Lo que le confiere su valor y su importancia es precisamente la diversidad de individuos, sus diferencias en los campos más diversos. La diversidad es una de las grandes reglas del juego biológico. A lo largo de generaciones, los genes que constituyen el patrimonio de la especie se unen y se separan produciendo esas combinaciones efímeras y diferentes que son los individuos. Y esa diversidad, esa posibilidad combinatoria infinita que hace que cada uno de nosotros sea único, no podemos sobrevalorarla. Ella es la que otorga a la especie su riqueza y le confiere sus potencialidades.



La diversidad es una manera de afrontar lo posible. Funciona como una especie de seguro para el porvenir. Y una de las funciones más profundas y más generales de los seres vivos es la de mirar hacia delante, la de “crear el porvenir”, como decía Valéry<sup>(9)</sup>. No existe movimiento alguno ni actitud alguna que no implique un “después”, un paso al instante siguiente. Respirar, comer, andar, es en realidad anticipar. Ver es prever. Cada acto, cada pensamiento nos conduce a lo que será. Un organismo sólo está vivo en la medida en que va continuar viviendo, aunque sólo sea un instante.

La selección ejercida en una diversidad de estructuras preexistentes parece ser un medio muy utilizado en el mundo de los seres vivos para enfrentarse a un porvenir desconocido: porvenir a corto plazo con la diversidad molecular, tal como se observa en la producción de los anticuerpos por los vertebrados; porvenir a largo plazo con la diversidad de las especies –cuyo increíble número permite al ser vivo establecerse en las regiones más diversas del planeta y en las condiciones más extremas- y, sobre todo, con la diversidad de los individuos que forman el blanco principal de la selección natural. Si todos tuviésemos la misma sensibilidad a un virus, la humanidad podría quedar arrasada por una sola epidemia. Somos unos  $4,5 \times 10^9$  (o sea 4.500.000.000) de individuos únicos que debemos afrontar los riesgos posibles. Y es ese carácter único de la persona lo que hace tan revulsiva la idea de producir copias idénticas por clonación.

En los seres humanos, la diversidad natural queda reforzada además por la diversidad cultural, que permite a la humanidad adaptarse mejor a muy diversas condiciones de vida y utilizar mejor los recursos de este mundo. Pero en este campo pesa la amenaza de la monotonía, de la uniformidad y del aburrimiento. Con el paso del tiempo va menguando esa extraordinaria variedad que han puesto los hombres en sus creencias, costumbres e instituciones. No pocas culturas están en trance de desaparecer, bien porque los propios pueblos se extinguen físicamente, bien porque se transforman bajo la influencia del modelo que impone la civilización industrial. Si no deseamos vivir

en un mundo invadido por un único modo de vida, por una sola cultura tecnológica y hablando la misma lengua, tenemos que andarnos con mucho cuidado. Hay que utilizar mejor nuestra imaginación.

Nuestra imaginación despliega ante nosotros la imagen siempre renovada de lo posible. Con dicha imagen confrontamos sin cesar lo que tememos y lo que esperamos. Ajustamos nuestros deseos y nuestras aversiones a ese “posible”. Pero si bien nuestra naturaleza nos permite crear el porvenir, el sistema funciona de tal manera que nuestras previsiones no puedan ser sino inciertas. No podemos pensar en nosotros mismos sin pensar en el instante siguiente, pero no podemos saber como será ese instante. Lo que vislumbramos hoy no llegará a realizarse. En cualquier caso, los cambios han de llegar, pero el porvenir será diferente de lo que creemos. Esta idea es especialmente aplicable a la ciencia. La investigación es un proceso infinito del que no puede decirse como evolucionará. Lo imprevisible forma parte de la propia naturaleza del proceso científico. Si aquello con lo que vamos a encontrarnos es verdaderamente nuevo, entonces, por definición, es algo desconocido de antemano. No hay forma de anticipar a dónde conduce una investigación determinada. Por ello no es posible escoger ciertos aspectos de la ciencia y desechar otros. Como indicaba Lewis Thomas<sup>(10)</sup>, la ciencia, o la tenemos o no la tenemos. Y si la tenemos, no podemos tomar de ella sólo lo que nos guste. Hay que aceptar también su componente imprevista e inquietante.



En esta obra he intentado demostrar que la actitud científica desempeña un papel muy definido en el diálogo entre lo posible y lo real. El siglo XVII tuvo la sabiduría de considerar la razón como una herramienta necesaria para tratar los asuntos humanos. El Siglo de las Luces y el siglo XIX tuvieron la locura de pensar que no sólo era necesaria, sino suficiente, para resolver todos los problemas. En la actualidad, todavía sería una mayor demostración de locura decidir, como quieren algunos, que con el pretexto de que la razón no es suficiente, tampoco es necesaria. La ciencia se esfuerza ciertamente en describir la naturaleza y distinguir el sueño de la realidad, pero no hay que olvidar que los seres humanos tienen tanta necesidad de sueños como de realidades. La esperanza da sentido a nuestra vida. Y la esperanza se basa en la perspectiva de lograr transformar algún día el mundo presente en un mundo posible que parezca mejor. Cuando Tristan Bernard fue detenido por la Gestapo junto con su esposa, le dijo: “Se ha acabado el tiempo del miedo. Ahora empieza el tiempo de la esperanza”.

## REFERENCIAS

- (1) A. Weismann, "La durée de la vie", en *Essais sur l'hérédité* (C. Reinwald et Cie, París, 1892).
- (2) P. B. Medawar, *The Uniqueness of the Individual* (Basic Book, Nueva York, 1957).
- (3) G. C. Williams, "Pleiotropy, Natural Selection and the Evolution of Senescence", *Evolution*, 11 (1957): 398-411.
- (4) Homero, *La Ilíada*.
- (5) Véase P. Vernant, *Mythe et pensée chez les Grecs* (Maspero, París, 1971).
- (6) H. J. Jerison, *Evolution of the Brain and Intelligence* (Academic Press, Nueva York, 1973).
- (7) E. Mayr, "The Evolution of Living Systems", *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, 51 (1964): 934-941.
- (8) L. J. Kamin, *The Science and Politics of IQ* (Erlbaum, Hillsdale, N.J., 1974).
- (9) P. Valéry, *Oeuvres*, I (Gallimard, La Pléiade, París, 1962).
- (10) L. Thomas, *The Medusa and the Snail* (The Viking Press, Nueva York, 1979).