

¿Y el amor qué tiene que ver?*

La solución a uno de los mayores enigmas de la evolución

RICHARD E. MICHOD**

En el principio, de acuerdo a Aristófanes, al hablar en el *Symposium* de Platón, el mundo estaba habitado por seres humanos extraordinarios, llamados hombres-círculo, cada uno con cuatro piernas, cuatro brazos, dos caras, dos corazones —en síntesis, el doble del número de cada rasgo del hombre moderno. Zeus, deseando reducir el poder de la humanidad, dividió en dos a estos seres prístinos. El dios Apolo los cortó por la mitad, reconstruyó la piel cortada, y suavizó las arrugas, excepto unas cuantas en el ombligo. De acuerdo a las órdenes de Zeus, Apolo volteó cada cara hacia la parte cortada —el lado del ombligo— de forma tal que pudieran recordar su división. Desde entonces, los humanos han vivido con la necesidad constante de reunirse con sus otras mitades, y es así, explicó Aristófanes, que el hombre es motivado por el amor, "el amor que nos restaura a nuestro estado original, al intentar unir a dos seres en uno y sanar las heridas que la humanidad sufrió".

Los oradores posteriores en el *Symposium*, añadieron una capa de complejidad a la noción de Aristófanes. Si el amor constituye un deseo de totalidad, dice la profetiza Diotima a Sócrates, pero sólo puede existir si el todo es en sí mismo algo bueno, "su objeto", dice, "es procrear y dar a luz en belleza... porque la procreación es la cosa más cercana a la perpetuidad y a la inmortalidad que puede alcanzar el ser humano". Los hu-

* Artículo aparecido en THE SCIENCES, mayo/junio de 1989. Traducción: Consuelo Bonfil S

** Universidad de Arizona, EU.



manos no permanecen por siempre iguales, como los dioses, explica Diotima, pero a través de la procreación "se reparan las pérdidas causadas por la edad".

La discusión en el *Symposium* está dirigida hacia la importancia y la complejidad del amor, como una emoción humana. Los oradores trazan un continuo del amor físico de dos individuos, al amor por la sabiduría inherente al hombre. Pero al hacerlo, los filósofos antiguos tocan sin intención uno de los mayores misterios básicos no resueltos de la biología: ¿Por qué hay sexo? O, como se formula más comúnmente la pregunta ¿Por qué evolucionó el sexo?

La pregunta misma parece extraña: la sexualidad es parte fundamental de la naturaleza humana, e incluso de mucha de la vida en la Tierra. Una respuesta inmediata puede ser que el sexo es placentero, pero hay organismos sexuales que no tienen cerebro —las plantas con flores, por ejemplo— y, por lo tanto, difícilmente pueden saber cómo se siente algo. Una abeja se posa en una flor; un ciervo levanta su cabeza y brama; una pareja humana yace exhausta en un abrazo apasionado. Lo que tienen en común estos actos, aparentemente disímiles es que están implicados en la extensión de la vida. Pero es demasiado simple decir que el sexo evolucionó para concebir nueva vida, ya que pueden también existir formas asexuales de reproducción: las esponjas y la mayoría de las bacterias se reproducen sin aparearse, y en ciertas especies de lagartijas sólo hay hembras asexuales, que fertilizan sus propios huevos. Aun más, es posible tener sexo sin reproducción.

La pregunta de por qué evolucionó el sexo se hace especialmente difícil cuando se considera el gran costo que éste implica en energía, tiempo y recursos. Los humanos están íntimamente familiarizados con la magnitud del esfuerzo requerido: la mayoría están preocupados, a partir de la adolescencia, por encontrar parejas adecuadas, unirse a ellas, y conservarlas. Y a otras especies sexuales tampoco les resulta fácil. Consideremos al pavorreal, que carga en la cola un conjunto de plumas notablemente ornamentadas, que sirven para atraer a las hembras, pero que igualmente atraen a los predadores; o el caso del alce macho, cuyas elaboradas astas crecen de tal forma que sea más atractivo a las hembras o, tal vez, que pueda enfrentarse a otros alces con el propósito expreso de ganar una hembra deseada. Las astas no le ofrecen ventajas para su supervivencia, y lo que es más, probablemente

la obstaculizan al dificultarle moverse entre la vegetación.

Otro costo de la reproducción sexual es la limitación que impone en el número de genes que una planta o un animal puede transmitir a sus descendientes. La teoría evolutiva establece que la motivación fundamental para cualquier ser vivo es preservar sus genes al pasarlos a la siguiente generación. La bacteria asexual replica su genoma completo (todo el conjunto de sus cromosomas) cada vez que se reproduce. En cambio un organismo sexual contribuye sólo con la mitad de sus cromosomas a cada progenie; la otra mitad proviene del otro padre.



Fotomontaje: Josep Renau.

Finalmente, hay un costo que el sexo impone en el potencial reproductivo de la especie como un todo. Los machos forman aproximadamente la mitad de cualquier población pero, en la gran mayoría de las especies, no contribuyen con nada, excepto con sus genes, para la siguiente generación; las hembras generalmente cargan con toda la responsabilidad de criar a la progenie. (Algunos padres humanos, y los machos de algunas especies de aves, peces e insectos, por ejemplo, permanecen cerca para dedicar tiempo, energía y recursos al cuidado de sus crías, pero son raras excepciones de la naturaleza.) En las especies que sólo tienen hembras que no se reproducen sexualmente, todos los individuos pueden producir y cuidar a la progenie, de tal forma que la población aumenta su potencial reproductivo al doble.

La pregunta, entonces, puede ser cir-

cunscrita a ¿por qué tantas especies adoptaron esta forma costosa de procrear? La respuesta del libro de texto es que la unión sexual crea variación genética. Una esponja que hace una copia exacta de sí misma no produce nada esencialmente nuevo. Pero un sabueso que se aparea con un pequinés puede producir un cachorro que no se parece a ninguno de sus procreadores. De acuerdo a la teoría clásica, esta habilidad de proveer variación, a su vez aumenta la habilidad de una especie para adaptarse a cambios en el ambiente. Por ejemplo, el clima puede estarse haciendo más cálido, y una rana joven, por alguna combinación fortuita de los genes de sus padres, tal vez sea más capaz de sobrevivir al calor. Una vez que se crean tales adaptaciones, pueden ser compartidas, de tal forma que la historia continúa, vía reproducción sexual, en otras familias al interior de la especie.

Esta explicación parece más científica que la de Platón. Y parece tener sentido intuitivo, o no estaría tan ampliamente difundida. Sin embargo ha sido difícil probar que la variación que surge de la recombinación sexual de los genes realmente confiere alguna ventaja evolutiva; las criaturas asexuales aparentemente son tan adaptables como las sexuales, al menos en el corto plazo.

Hay una mejor explicación para la evolución del sexo —una que da cuenta de por qué persiste a pesar del costo que conlleva. Esta teoría no tiene que ver con la adaptabilidad de una especie como un todo, sino con la integridad del material genético en las células de cada planta o animal. La reproducción sexual, como es cada vez más claro, juega un papel crucial en la reparación y mantenimiento de los genes. Durante la fabricación de las células germinales (huevos y espermatozoides) —estadio clave en la reproducción sexual —se repara cualquier daño que hayan sufrido los genes. O, para usar las palabras de Diotima, "las pérdidas causadas por la edad, son reparadas". Así, la hipótesis de la reparación en la evolución del sexo, es como un regreso a la idea los diálogos de Platón expresada hace ya alrededor de doscientos años: el amor es una forma de hacer la vida completa de nuevo.

La noción de que el sexo evolucionó para aumentar la adaptabilidad no fue siempre tan popular como lo es hoy. A finales del siglo diecinueve, cuando los científicos consideraban las numerosas implicaciones de la revolucionaria teoría de la evolución por selección natural de Darwin, era una idea común que el papel

del sexo fuera rejuvenecer la vida, crear hijos de padres maduros. De alguna forma misteriosa, razonaban, la reproducción sexual debe hacer el trabajo mejor que la reproducción asexual, o no estaría tan difundida.

Esos mismos científicos consideraron la posibilidad de que la reproducción sexual pudiera aumentar la adaptación, pero concluyeron que, de hecho, lo contrario resulta probablemente más común. Si el sexo puede promover la variación genética, es igualmente capaz de eliminar cualquier variación que haya creado. Debido a que las características adaptativas que surgen en un animal, a través de la unión del material hereditario de sus padres (el término *genes* todavía no se usaba) en la reproducción sexual, no pueden pasar directamente a la siguiente generación, sino que deben ser mezcladas con las de la pareja, es muy probable que se diluyan. Consideremos, por ejemplo, un par de aves, que se aparean, en un bosque en el cual el follaje ha cambiado ligeramente de color. Uno de sus descendientes puede tener un plumaje que se combine particularmente bien con la nueva flora y, por lo tanto ofrezca un mejor camuflaje. Pero cuando este pájaro madure y se reproduzca, mezclando sus rasgos con los de su pareja, la combinación que produjo su coloración, muy probablemente será eliminada, y las plumas de sus descendientes podrían tener de nuevo la tonalidad original.

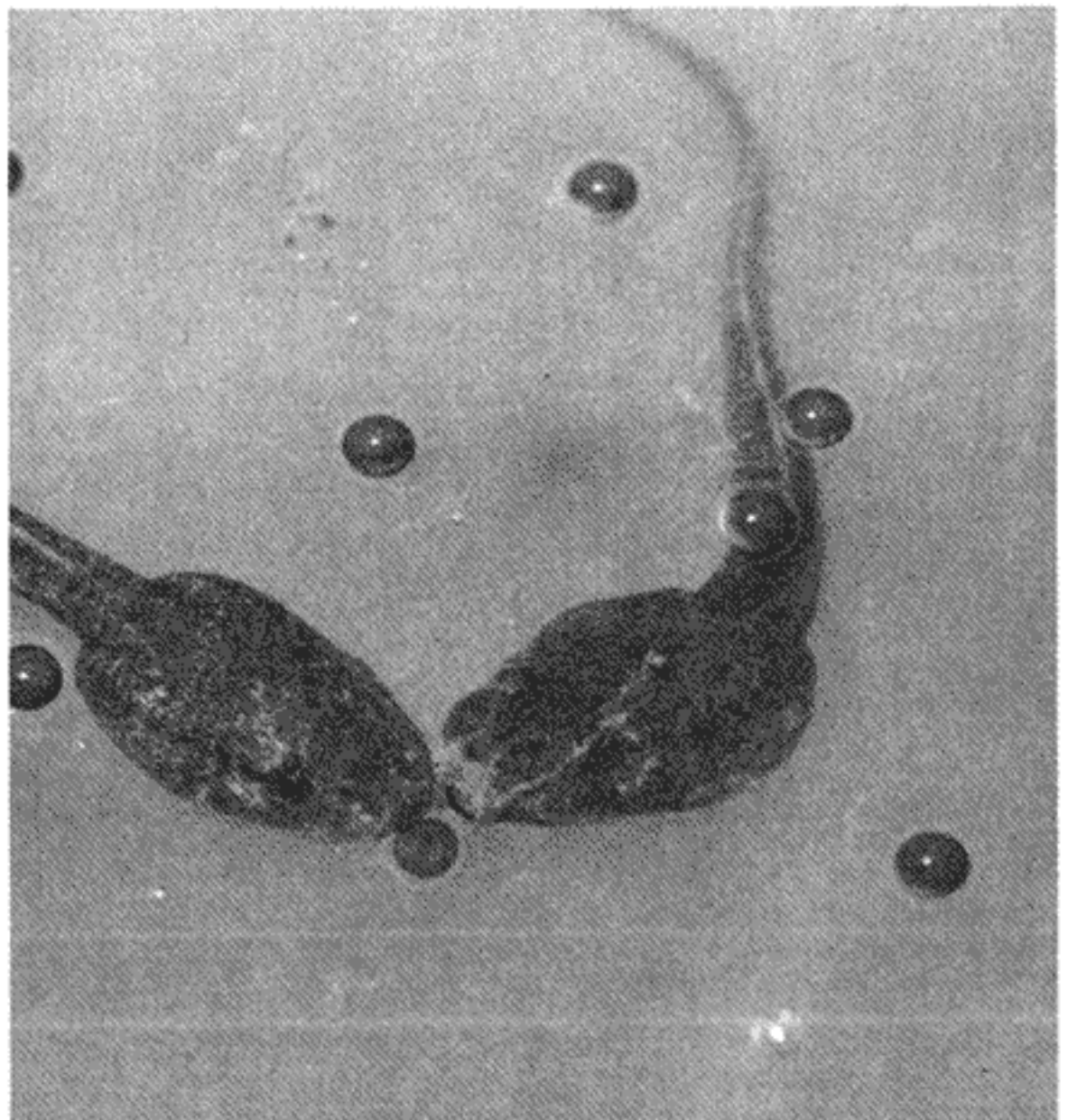
Este razonamiento, como se mostró después, era correcto, pero en 1889 perdió credibilidad, gracias a los influyentes artículos del biólogo alemán August Weismann. Weismann trazó una distinción fundamental entre la línea germinal de un individuo, las células transmitidas de padres a hijos (huevos y espermatozoides), y su línea somática, las células que forman los tejidos, órganos, estructuras esqueléticas de la planta o el animal. La característica notable de la línea germinal, notó, es que puede vivir por siempre: es teóricamente posible trazar la ascendencia de cualquier huevo o espermatozoide, a través de una sucesión continua de generaciones, hasta las primeras células que se formaron en la Tierra. En contraste, las células somáticas envejecen y mueren; se derivan de células germinales, pero deben comenzar de nuevo en cada generación.

Weismann creía que esta distinción tenía implicaciones importantes sobre cómo debía actuar la evolución. La mayoría de los biólogos habían asumido que las múltiples mutaciones ventajosas

que ocurrían en los genes de un organismo, durante el curso de su vida, podían ser pasadas a sus descendientes. Cuando Weismann se dio cuenta de que sólo se transmiten los genes de las células germinales concluyó que esto debía limitar severamente el número de rasgos adaptativos que podían ser preservados. Después de todo, de los millones de células que una planta o un animal puede contener, sólo hay una célula germinal transferida a cada miembro de la siguiente generación.

Weismann buscó una manera de reconciliar la selección natural con la continuidad de la línea germinal, intentó explicar cómo las generaciones sucesivas podían acumular características adaptativas, y encontró la respuesta en la reproducción sexual: la unión de genes, provenientes de dos padres, que da por resultado combinaciones inusuales, debe ser el principal mecanismo por el cual los rasgos nuevos son introducidos en la línea germinal para "alimentar" a la evolución. En otras palabras, la variabilidad que crea la reproducción sexual, *debe* superar su propia habilidad para diluir las nuevas características.

Aunque Weismann no tenía evidencias específicas para sustentar este razonamiento, logró arraigo, y la teoría de que el sexo evolucionó para facilitar la adaptación ha persistido a través del siglo veinte. Los genetistas han sido capaces de concebir ambientes en los que la reproducción sexual aumentaría la adaptabilidad. Imaginemos, por ejemplo, dos habitats vecinos, uno con temperaturas cálidas y suelos ácidos, el otro con clima templado y un suelo más básico, y una especie de helecho que se ha adaptado a ambas localidades. Los helechos que habitan la primera zona tienen genes que los hacen prosperar en el calor y la acidez; mientras que los que viven en la segunda, tienen genes ligeramente diferentes, que los adaptan a temperaturas templadas y suelos básicos. Supongamos, entonces, que el clima del primer habitat cambia de forma tal que se torna tan templado como el segundo, pero su suelo permanece ácido. Idealmente, si los helechos que vivieran ahí pudieran cruzarse con helechos de la localidad vecina, la combinación de ambos conjuntos de genes podría producir, al azar, al menos algunos descendientes adaptados tanto al clima templado como a la acidez. Así, en ciertas situaciones la repro-



ducción sexual puede ofrecer un medio eficiente de crear una combinación ideal de rasgos.

Sin embargo este escenario está claramente limitado: los dos habitats deben estar lado a lado, o el cruzamiento entre los dos grupos de helechos no podría llevarse a cabo; las condiciones en uno deben cambiar de cierta forma (una variable cambia, no la otra); y el sexo entre las plantas debe, por azar, producir la combinación ideal de genes de temperatura templada y genes de suelo ácido en cantidades significativas, cuando es igualmente posible que su cruzamiento produzca plantas adaptadas a temperaturas cálidas y suelos básicos, el opuesto exacto de lo que se necesita. De hecho, ninguno de los escenarios hipotéticos que los genetistas han diseñado hasta ahora ha sido lo suficientemente amplio para explicar por qué la reproducción sexual está tan ampliamente difundida; en cada caso el sexo parece ser ventajoso sólo en situaciones limitadas. Es más, el biólogo inglés John Maynard Smith, una autoridad mundial en el tema, admite en su libro *La evolución del sexo*: "Temo que el lector pueda encontrar estos modelos insustanciales e insatisfactorios, pero son lo mejor que tenemos."

Naturalmente, esto ha motivado la búsqueda de explicaciones alternativas de por qué el sexo está tan difundido. Harris Bernstein, Henry Byerly, Fred Hopf y yo, hemos reconsiderado la noción de que de alguna forma la reproducción sexual funciona mejor que la asexual, como un mecanismo de cambio de células de organismos maduros a organismos jóvenes. Weismann desechó esta idea con la afirmación "dos nada no pueden hacer uno", queriendo decir que no hay una ventaja aparente en usar dos células maduras, de dos organismos separados, en vez de una sola célula madura, de un solo organismo asexual, para producir una nueva planta o animal. En años recientes, sin embargo, con la comprensión de cómo opera el ADN y cómo se forman las células germinales, se ha probado que Weismann pudo estar equivocado: dos nada pueden hacer uno.

El ácido desoxirribonucleico (ADN) es una molécula diseñada para almacenar la información necesaria para crear y mantener la vida de un organismo —información, por ejemplo, acerca de qué estructuras (brazos, piernas, alas, hojas, capullos) deben ser formadas y dónde; acerca de qué enzimas deben ser producidas para controlar operaciones como la respiración y la digestión. La informa-

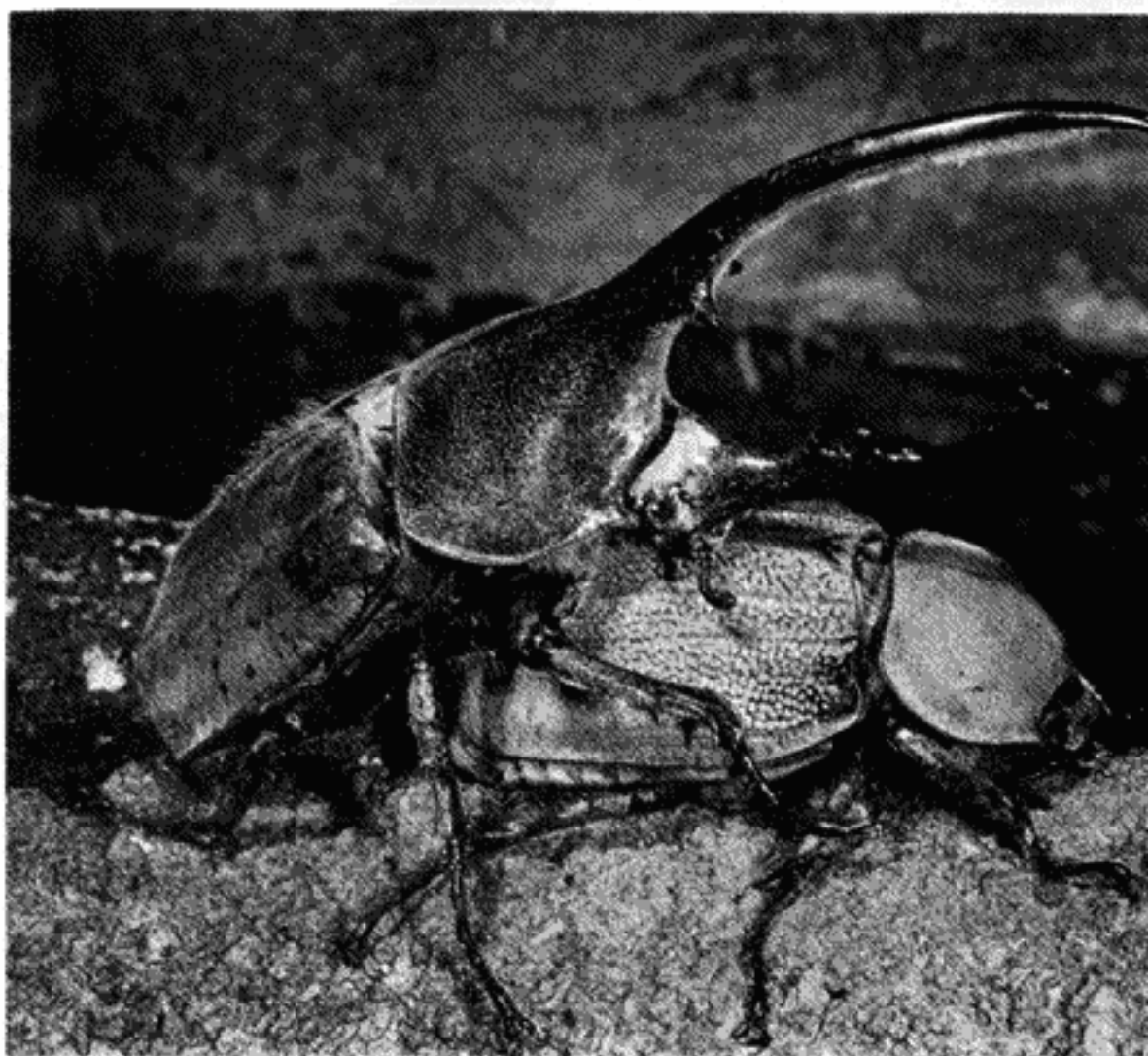
ción está codificada en cuatro compuestos químicos llamados nucleótidos (adenina, citosina, guanina y timina), que están arreglados para formar las dos cadenas en la molécula de ADN —al igual que la información que se expresa en la lengua inglesa está codificada en cadenas de caracteres romanos. Una hebra doble de mil a cinco mil nucleótidos de largo, puede constituir un solo gene, y puede haber tantos como decenas de miles de genes en una molécula de ADN: *el cromosoma*.

Todas las células somáticas de cualquier planta o animal sexuado son diploides, lo que significa que contienen dos copias de cada cromosoma, uno heredado de cada uno de sus padres. (La mayoría de las criaturas sexuadas tienen entre cinco y cincuenta pares de cromosomas: un humano tiene veintitrés; una rana, once; un caballo, treinta y dos; un perro, treinta y nueve y un mosquito, tres.) Conforme la planta o el animal crecen el número de células somáticas aumenta por medio de la mitosis, el proceso por el cual una célula se divide, y cada célula nueva contiene una copia de todos los pares de cromosomas de la célula madre.

Cuando está siendo copiado, durante la mitosis, el ADN puede sufrir un tipo de cambio azaroso, accidental, conocido como mutación, en su cadena de nucleótidos. Tales mutaciones son irreversibles,

porque la célula no puede reconocer el error. La timina puede ser sustituida por la citosina en algún punto a lo largo de una cadena de nucleótidos, pero no hay nada en la timina en sí misma que sea extraño para la célula, así es que no se hace nada para deshacerse del nucleótido mal colocado. Cuando la célula se divide, reproducirá la timina en su nueva posición como si ésta fuera correcta. Tales mutaciones, si ocurren en posiciones claves en los genes, o si hay muchas de ellas, puede llevar a la alteración de rasgos en el organismo. Los cambios ventajosos pueden ayudar al organismo a sobrevivir, y mientras estén presentes en las células germinales del organismo, pueden ser transmitidos a futuras generaciones.

Una forma más drástica de cambio accidental, conocida como daño, puede ocurrir cuando el ADN se expone a efectos de la luz solar, la radiación ionizante, o a toxinas químicas. Los organismos vivos han desarrollado defensas sofisticadas contra tales agentes dañinos: la piel humana, por ejemplo, se oscurece cuando se expone al sol, para filtrar las radiaciones ultravioletas; las células mismas contienen enzimas que neutralizan a los compuestos que dañan al ADN; el empaquetado del ADN dentro del núcleo de la célula, probablemente está diseñado en parte para proteger a los genes de las sustancias cáusticas producidas en el citoplasma durante el meta-



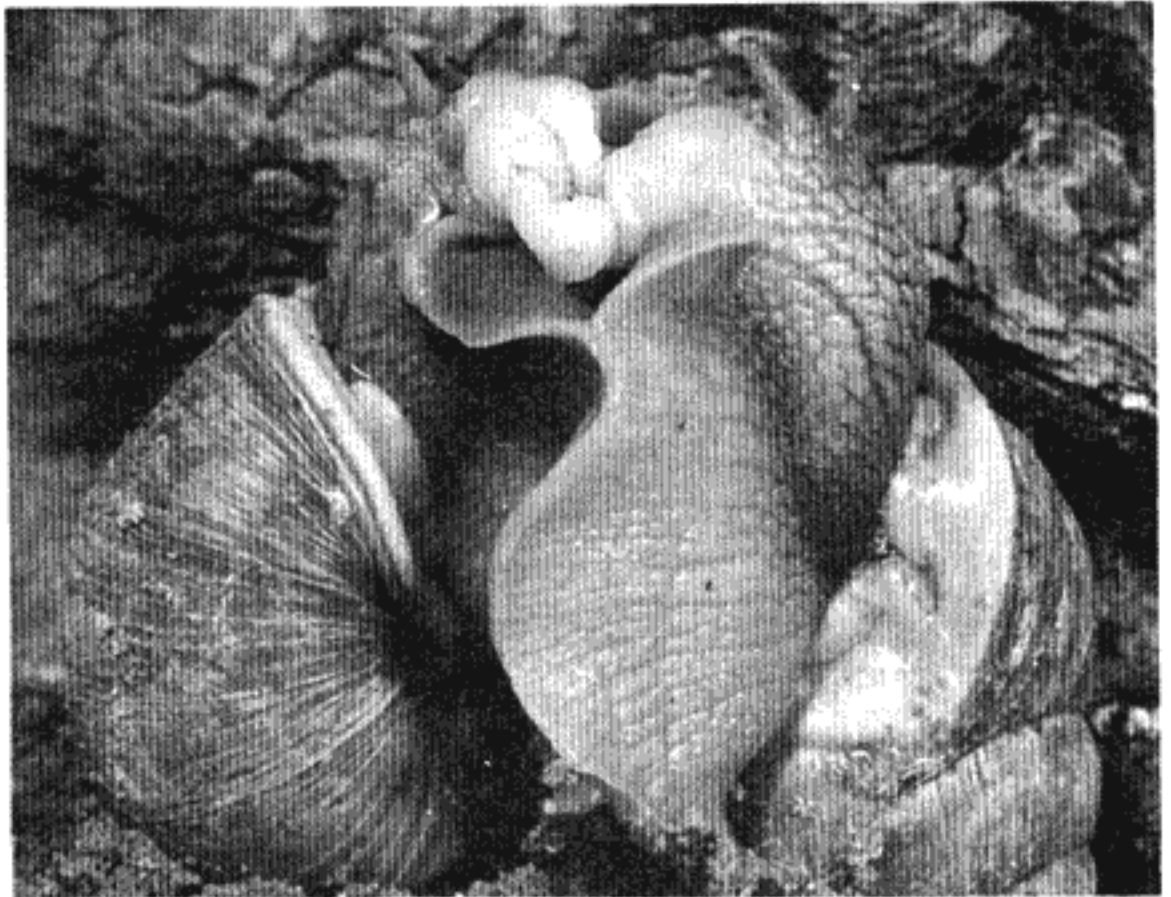
bolismo. Pero a pesar de toda esta protección el daño ocurre inevitablemente. Uno o más nucleótidos pueden ser cambiados por otra sustancia química, interfiriendo con la expresión del ADN —su transcripción en ARN—, que crea las proteínas necesarias para desarrollar el trabajo de la célula.

A diferencia de las mutaciones en el ADN, el daño es reconocido por ciertas enzimas como una aberración en la cadena de nucleótidos, lo que produce una acción en respuesta al problema. Si el daño es suficientemente extenso, la célula puede dejar de reproducirse. (Esto puede no dañar al organismo, si tiene otras células en cantidades suficientes, para compensar la pérdida.) En otros casos, puede ser posible repararlo. Para esto, la célula necesita acceso al ADN de repuesto, tal como un mecánico automotriz necesita partes de repuesto para hacer reparaciones. En las células, hay ADN de reserva en cualquier sitio en que se dé redundancia genética.

Existe una forma de redundancia dentro de las hebras complementarias de una sola molécula de ADN. Si hay daño en una sola hebra, éste puede ser extirpado por enzimas, y el hueco resultante se rellena con una cadena de nucleótidos unidos, a través del uso de la cadena complementaria, a modo de un templete. Este proceso, la reparación por excisión, ocurre continuamente en la mayoría de las células.

Una segunda forma de redundancia —que es más importante para comprender el valor de la reproducción sexual— ocurre dentro de las células diploides de la línea germinal, que eventualmente se dividen para formar huevos o espermatozoides (que son haploides y contienen sólo una copia de cada cromosoma). Los dos miembros de cada par de cromosomas son redundantes y, por lo tanto, pueden efectuar reparaciones uno sobre el otro. En tales células, incluso el daño en las dos hebras (potencialmente letal para las células), puede ser reparado. Primero, la porción dañada del gene es extirpada, y entonces la hebra correspondiente es cortada de la otra molécula de ADN e insertada en el hueco del ADN dañado. Esto deja dos huecos de una sola hebra en cada molécula de ADN, y éstos pueden llenarse como en la reparación por escisión.

Esta forma de reparación es una parte integral de la meiosis, la división de la célula germinal diploide en célula huevo o espermatozoide. La meiosis difiere significativamente de la mitosis: antes de



que la célula germinal se divida, los dos miembros de cada par de cromosomas se alinean lado a lado y se recombinan, o intercambian algunos de sus genes. (En la mitosis, tal intercambio de genes ocurre sólo rara vez.) Cuando se ha terminado, cada cromosoma contiene una mezcla de genes de cada uno de los padres del organismo. Entonces la célula se divide, dejando uno de los cromosomas alterados en cada una de las nuevas células germinales.

Cuando este proceso se dilucidó por primera vez, los científicos asumieron que el principal propósito de la meiosis era asegurar que cada célula germinal tuviera una mezcla única de los genes de sus padres. Pero en 1983, los biólogos descubrieron que el ímpetu para la recombinación proviene del daño del ADN. Se piensa que los huecos en la doble hebra en los cromosomas de la célula diploide germinal, hechos por enzimas que han reconocido el daño en esas zonas, son los lugares en donde ocurre el intercambio de genes. En otras palabras, de los dos procesos —recombinación y reparación— la reparación parece ser el fundamental; la recombinación se lleva a cabo para asegurar que las reparaciones se realicen.

Estudios de una gama de organismos sexuales —incluyendo levaduras, bacterias, virus, moscas de la fruta, y humanos— han corroborado la importancia de la reparación genética en la formación de las células. Cuando los entes vivos están sujetos a agentes que causan daño del ADN, la recombinación genética, en prepa-

ración para la reproducción sexual, aumenta en frecuencia. Y cuando los organismos pierden su habilidad para realizar reparaciones al recombinar ADN, la sensibilidad de éste al daño, aumenta significativamente.

La reparación que ocurre cuando las células germinales se forman, es el mecanismo que subyace en la aseveración de Weismann de que "dos nada no pueden hacer uno". Si los dos nada son dos moléculas de ADN dañadas o envejecidas, pueden ser reparadas, al formarse células germinales listas para la reproducción sexual. Consecuentemente, se complementa de nuevo el ADN transferido por cada padre. Esta forma altamente eficiente de mantenimiento genético es lo que explica, satisfactoriamente el por qué existe el sexo.

Con la hipótesis de la reparación en mente, es posible imaginar por qué la reproducción sexual evolucionó en organismos de una sola célula, similares a bacterias y virus, que son haploides. En tales criaturas, la reparación del daño en las dos hebras no es posible (porque no hay un segundo cromosoma con el cual trabajar); de alguna manera, deben haber encontrado una vía para combinar sus cromosomas con los de sus congéneres, para así volverse a completar. Tal vez comenzaron por desarrollar la habilidad para practicar la transformación, una función común a muchos tipos de bacterias que existen hoy. En este proceso, las bacterias toman, y mezclan en su propio ADN, fragmentos de cromosoma liberados por otras bacterias. La transforma-

ción es, esencialmente, una forma de sexo, aunque no está asociada con la reproducción, porque provee de nuevo material genético para ser usado en la reparación del ADN dañado. Eventualmente, conforme evolucionaron los primeros organismos diploides, debe haberse dado un proceso parecido a la transformación, que estuvo íntimamente involucrado en la reproducción.

Conforme la vida continuó diversificándose, los organismos diploides emergieron como la forma dominante. Aparentemente en este punto, el apareamiento ya no resultaría necesario, porque cualquier reparación en un cromosoma podría hacerse por recombinación con el otro miembro del par. Sin embargo la mayoría de los diploides continuaron apareándose —no, como Weismann pensó, para asegurar la variación genética en sus descendientes, sino para garantizar el éxito de la reparación del ADN.

La necesidad de suministros frescos de ADN para una reparación efectiva en organismos diploides surge de la forma en la cual los genes son expresados o enmascarados por otros genes. Frecuentemente, uno de los dos genes para un solo rasgo (uno heredado del padre y transportado en un cromosoma; el otro heredado de la madre y transportado en el otro) dominará, enmascarando al otro, el gen recesivo. Éste es el principio que Gregorio Mendel, el monje austriaco del siglo XIX, descubrió al experimentar con plantas de chícharo en el jardín de un monasterio. Si una planta con flores púrpuras se cruza con una que tenga flores blancas, de tal forma que cada descendiente herede un gen (o conjunto de genes) para morado y uno para blanco, sus flores serán todas púrpuras, porque el gen púrpura domina. Sólo las plantas que han heredado genes de flores blancas de ambos padres pueden tener flores blancas.

El mismo principio puede operar en el caso de genes mutantes, que frecuentemente son recesivos. Si la célula germinal de un padre contiene un gen defectuoso —uno que especifique, por ejemplo, que una estructura anormal (tal vez un miembro mal formado o un rasgo facial) debe desarrollarse— es probable que sea anulado en la prole por el gen normal de la célula germinal del otro padre. Sólo si ambos genes contienen la misma mutación ocurrirá el crecimiento anormal.

La razón por la cual el incesto, o la cruce entre parientes, lleva a la creación



de descendientes desadaptados, es la expresión acentuada de esas mutaciones deletéreas recesivas. Si ambos padres son de la misma familia, cada uno puede haber heredado la misma mutación recesiva de un ancestro compartido. Ellos en sí mismos no serán afectados, porque también poseen genes normales dominantes para el mismo rasgo. Pero si las células germinales de ambos padres tienen la misma mutación recesiva, los descendientes pueden sufrir —por algo tan inocuo como un dedo mal formado o tan desastroso como un corazón que no funcione bien. Y si la cruce entre parientes es mala para la progenie, imaginen las consecuencias de que un organismo se reproduzca consigo mismo. Cuando la recombinación ocurre una y otra vez con el mismo material genético, las mutaciones recesivas pueden sumarse, y no hay nunca genes nuevos dominantes que eviten los problemas. El cruzamiento, por contraste, asegura que los cromosomas que se recombinan durante la meiosis, efectivamente enmascaren las mutaciones recesivas uno sobre otro.

Naturalmente, hay algunas especies que han abandonado el cruzamiento. Por ejemplo, una población de una lagartija común que vive en los desiertos del suroeste americano, se ha transformado en el transcurso de los últimos diez mil años, de sexual a partenogenética. Las hembras de esta especie fertilizan sus propios huevos, al introducir cromosomas de una de sus propias células tipo huevo (conocidos como cuerpos polares, que son producidos, junto con los huevos, durante la meiosis), de tal forma que nunca se introducen los genes de un segundo animal. Pero los biólogos creen que antes de que cualquier especie pueda

hacer tal transformación a la reproducción asexual, debe haber eliminado de su lote genético, a través de la selección natural, la mayoría de las mutaciones dañinas recesivas. Una vez que la especie se torna asexual, sin embargo, es sólo cuestión de tiempo antes de que el número de tales mutaciones aumente de nuevo, —lo que puede explicar por qué la mayoría de las especies que cambian de reproducción sexual a asexual se extinguen pronto.

La hipótesis de la reparación también explica por qué la línea germinal es potencialmente inmortal. Una de las teorías más plausibles de cómo envejecen plantas y animales, es que sufren, a lo largo del tiempo, una cantidad insostenible de daño del ADN en sus células individuales. Las células somáticas pueden hacer numerosas reparaciones, pero eventualmente la constante acumulación de daño las estropea. Las células germinales, por otro lado, son creadas de tal forma, que se asegura que el ADN está en un orden perfecto, o casi, y son pasadas a la siguiente generación antes de algo malo suceda.

Así, la línea germinal constituye la única aproximación que cualquier criatura terrenal tiene a la inmortalidad. "Es de esta forma que todo lo mortal es preservado", dijo Diotima en el *Symposium*, "no para permanecer por siempre iguales, lo cual es prerrogativa de la divinidad, sino al sufrir un proceso en el cual las pérdidas causadas por la edad son reparadas por nuevas adquisiciones de un tipo similar...; es para asegurar la inmortalidad, que cada individuo es poseído por este deseo vehemente y este amor."²⁴