Ares y Mares

José Enrique Campillo Álvarez

La cadera de Eva

El protagonismo de la mujer en la evolución de la especie humana

La cadera de Eva

ADVERTENCIA
ESTA ES UNA COPIA PRIVADA PARA FINES EXCLUSIVAMENTE EDUCACIONALES

QUEDA PROHIBIDA
LA VENTA, DISTRIBUCIÓN Y COMERCIALIZACIÓN

- El objeto de la biblioteca es facilitar y fomentar la educación otorgando préstamos gratuitos de libros a personas de los sectores más desposeídos de la sociedad que por motivos económicos, de situación geográfica o discapacidades físicas no tienen posibilidad para acceder a bibliotecas públicas, universitarias o gubernamentales. En consecuencia, una vez leído este libro se considera vencido el préstamo del mismo y deberá ser destruido. No hacerlo, usted, se hace responsable de los perjuicios que deriven de tal incumplimiento.
- Si usted puede financiar el libro, le recomendamos que lo compre en cualquier librería de su país.
- Este proyecto no obtiene ningún tipo de beneficio económico ni directa ni indirectamente.
- Si las leyes de su país no permiten este tipo de préstamo, absténgase de hacer uso de esta biblioteca virtual.

"Quién recibe una idea de mí, recibe instrucción sin disminuir la mía; igual que quién enciende su vela con la mía, recibe luz sin que yo quede a oscuras" ,

—Thomas Jefferson

Para otras publicaciones visite
www.lecturasinegoismo.com
Referencia: 2264

José Enrique Campillo Álvarez

La cadera de Eva

El protagonismo de la mujer en la evolución de la especie humana

Ares y Mares

ARES *y* MARES
es una marca editorial dirigida por
Carmen Esteban

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del *copyright*, bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo públicos.

Fotocomposición: Víctor Igual
Diseño de la cubierta: punt groc
Ilustración de la cubierta e ilustración de las figuras: © Dionisio Álvarez Cueto

© 2005: José Enrique Campillo Álvarez
© 2005: Ares y Mares (EDITORIAL CRÍTICA, S. L., Diagonal, 662-664, 08034, Barcelona)
e-mail: editorial@ed-critica.es
ISBN: 84-8432-666-7
Depósito legal: B. 28.957-2005
Impreso en España
2005, A & M Gràfic, S. L., Santa Perpètua de Mogoda (Barcelona)

A Nena, Lola, Beatriz y Carla,
mis «Evas» preferidas.

NOTAS PRELIMINARES

AGRADECIMIENTOS

QUIERO EN PRIMER LUGAR expresar mi gratitud a don Quijote de la Mancha en su cuatrocientos aniversario. *La cadera de Eva*, como su hermano *El mono obeso*, no hubieran visto la luz sin la influencia benéfica de tan magna obra. Me explicaré. Hace unos años, durante una lectura madura de *El Quijote*, reparé en el prólogo, que rebosa inteligencia e ironía. Allí, entre otras cuestiones, Cervantes pone en boca de un amigo, que acude a socorrerle, las siguientes recomendaciones acerca de cómo se debe escribir:

> ... procurar que a la llana, con palabras insignificantes, honestas y bien colocadas, salga vuestra oración y periodo sonoro y festivo, pintando, en todo lo que alcanzáredes y fuere posible, vuestra intención; dando a entender vuestros conceptos sin intrincarlos y oscurecerlos. Procurad también que, leyendo vuestra historia ... el simple no se enfade, el discreto se admire de la invención, el grave no la desprecie, ni el prudente deje de alabarla.

Desde entonces no he dejado de esforzarme por seguir los dictámenes del maestro, aun reconociendo que la senda es dificultosa y que mis cualidades literarias son menguadas.

También agradezco los consejos técnicos de la doctora María Dolores Torres y de los doctores Juan Manuel Moreno y Javier Millán. Mi gratitud a Clara Redondo por la excelente corrección gramatical y de estilo realizada. Y, por supuesto, quiero agradecer a mi editora, Carmen Esteban, su confianza, su apoyo y sus acertados consejos.

Información al lector

De otra parte, creo que la informática es un instrumento que nos permite una actualización constante de los conocimientos respecto a un tema determinado y puede complementar de una manera ágil y constante la información contenida en cualquier libro. Es, además, un instrumento que proporciona una vía de comunicación rápida y eficaz, sin intermediarios, entre el autor y sus lectores. Por eso desde estas líneas invito al lector interesado a visitar mi página web: *www.mono_obeso.typepad.com*

Ahí encontrará abundante información complementaria en todo lo relacionado con el papel de la mujer en la evolución de la especie humana, así como numerosas imágenes en color y enlaces directos a las páginas de Internet relacionadas con este tema. Además, bien a través de la propia página *web* o mediante el correo electrónico que en ella aparece, cualquier lector puede ponerse en contacto con el autor para hacerle llegar sus sugerencias, dudas o discrepancias, que serán atendidas con la mayor diligencia.

INTRODUCCIÓN

EL PROTAGONISMO DE UN HUESO

UNO DE LOS MÚLTIPLES RELATOS acerca del origen del ser humano, aquél que se incluye en la Biblia, concede una gran relevancia en tan delicado asunto a un hueso. En efecto, en el Génesis se lee: «Entonces Yahveh Dios hizo caer un profundo sueño sobre el hombre, el cual se durmió. Y le quitó una de las costillas, rellenando el vacío con carne. De la costilla que Yahveh Dios había tomado del hombre formó a la mujer».

Los más modernos descubrimientos científicos sobre el origen y la evolución de la especie humana coinciden con el relato bíblico al señalar que fue un hueso el que tuvo la mayor responsabilidad a la hora de convertirnos en lo que hoy somos. Pero la ciencia y la creencia difieren en dos aspectos fundamentales: el tipo de hueso y el sexo del portador de la pieza. Para la Biblia fue la costilla de Adán; para la ciencia, la cadera de Eva.

Es indudable que la característica que nos hace humanos es nuestro cerebro: una poderosa estructura de gran complejidad y de un tamaño desmesurado en proporción al cuerpo que lo

sustenta. Los más recientes avances de la ciencia sugieren que todos los grandes hitos evolutivos, los cambios cruciales que permitieron ese salto gigantesco desde un cerebro de cuatrocientos centímetros cúbicos hasta otro de mil trescientos centímetros cúbicos, con todo lo positivo y negativo que esto conlleva, tuvieron lugar sobre el organismo de la hembra de la especie y, sobre todo, en relación con la evolución de su cadera. En efecto, de nada hubieran servido las prodigiosas contribuciones morfológicas, neuroendocrinas y metabólicas que lograron construir a lo largo de millones de años de evolución nuestro gran cerebro si, paralelamente, no hubiera evolucionado una cadera capaz de parir el enorme cráneo que lo contiene.

Además, aquéllas peculiaridades fisiológicas que nos diferencian del resto de los animales, las que son tan específicamente humanas que es imposible encontrarlas fuera de nuestra especie, las que marcan, por tanto, nuestra propia identidad dentro del reino animal, todas ellas, son características propias de la fisiología de la hembra, adaptaciones extraordinarias que se han producido en el organismo de la mujer a lo largo de millones de años de evolución.

Las biografías de Eva

Son numerosos los estudios que se han publicado sobre la evolución de la especie humana. La mayor parte de ellos centran su relato en el macho de la especie: alaban sus proezas en la caza, exaltan sus logros en la fabricación de utensilios y resaltan que fueron estas adquisiciones evolutivas del macho las que permitieron nuestra evolución. A la hembra se le ha adjudicado tradicionalmente un papel secundario en el proceso evolutivo: siempre encerrada en la cueva, rodeada de una pandilla de crías chillonas y hambrientas, mientras aguarda espe-

ranzada y temerosa la llegada del macho protector y nutricio. Sin embargo, hoy los datos paleoantropológicos de que disponemos muestran una imagen muy diferente: el hombretón llega a la cueva hambriento y cansado, tras dos días de vagar sin haber logrado cazar nada, y tiene que aceptar las bayas y los insectos que han recolectado la hembra y las crías por los alrededores de la cueva. Ésta es la razón del presente libro. Se trata de estudiar la evolución de nuestra especie desde un ángulo escasamente frecuentado, más original y sobre todo más realista: la evolución de la hembra de la especie.

Cuando se considera a la especie humana desde el punto de vista de la fisiología, y más desde la fisiología endocrinológica, y se la compara con el resto de las especies que viven en la actualidad, sorprende descubrir que las cualidades que diferencian a nuestra especie de las demás no son ni la inteligencia (unos animales tienen más y otros, menos) ni la bipedestación (que también practican algunas especies), ni la capacidad de utilizar objetos (que también ejercitan otros animales); ni siquiera la visión tridimensional en color. Desde el punto de vista de un fisiólogo (ésa es quizá mi deformación profesional), las características de la especie humana que no podemos encontrar en otras especies, son las siguientes:

1. La receptividad sexual constante y la ocultación de la fertilidad; es decir, que la hembra humana es receptiva al macho, incluso fuera del periodo de fertilidad, y que cuando llega tan delicado momento, no se anuncia llamativamente.
2. La posición ventral para la cópula, que, aunque no es la única postura posible en el ser humano, es la más natural por la disposición, también única en nuestra especie, de la vagina hacia delante, con apertura ventral de la vulva. Ningún otro animal copula normalmente cara a cara.
3. El orgasmo femenino, una rareza en el reino zoológico y,

al parecer, sin ninguna función respecto a la procreación, ya que a diferencia del hombre la mujer puede ser fecundada en ausencia de orgasmo.

4. La menstruación; es decir, un aparente desperdicio periódico de nutrientes y de minerales, sobre todo de hierro, ya que el cuerpo desecha por la vagina la mucosa uterina no utilizada.

5. Un parto difícil que requiere, en la mayor parte de los casos, la ayuda de otra persona, y se convierte, así, en un acto social.

6. Unas crías prematuras, incapaces de valerse por sí mismas hasta los cinco años de edad.

7. La menopausia, es decir, el cese de la actividad reproductora muchos años antes de la muerte biológica, y su consecuencia más directa: la invención de la figura de la abuela.

La hipótesis general que se plantea en este libro es que cientos de miles de hembras, a lo largo de millones de años de evolución, soportaron cambios drásticos en sus organismos para adaptarse con éxito a cada nueva circunstancia ambiental, a cada cambio ecológico, y así impulsaron la evolución de toda la especie humana. Este libro condensa las biografías evolutivas de todas esas Evas que nos precedieron.

Una cuestión de diseño

El organismo humano es el resultado de millones de años de evolución. Desde el punto de vista evolucionista, el diseño actual del organismo humano, de cada una de nuestras funciones y de cada característica morfológica, es el óptimo, el que se fue moldeando milenio a milenio a lo largo de la evolución. Este diseño tuvo que desarrollarse para responder a los cambios continuos en el medio, en la alimentación y en la forma de vida a los que se enfrentaron nuestros ancestros en cada una de las

etapas de la evolución. Hoy día, el desarrollo cultural y los avances tecnológicos nos permiten con frecuencia obviar las limitaciones de nuestro diseño, pero siempre es interesante y útil reconocer de dónde venimos y por qué somos así.

Un ejemplo de diseño evolutivo nos lo proporciona la variación genética que ocasiona un aumento de la cantidad de melanina de la piel. La abundancia de melanina en la piel es un rasgo que sólo está presente en una proporción de los individuos de la especie humana. Esta circunstancia es muy ventajosa para los habitantes de las zonas tropicales, donde el elevado grado de insolación exige disponer de una mayor protección contra la peligrosa radiación ultravioleta, que causa quemaduras y que puede promover que algunas células de la piel se tornen cancerosas. A lo largo de cientos de miles de años, aquellos individuos cuyo código genético determinaba una piel más oscura prosperaron en las zonas tropicales; su diseño de piel oscura, rica en melanina, era el más adecuado para sobrevivir en el ambiente de gran insolación en el que habitaban.

Pero este mismo diseño, es decir, un exceso de melanina en las células de la piel, no es beneficioso para los habitantes de las zonas frías del norte, donde la baja intensidad de los rayos del sol aporta poca radiación ultravioleta. El motivo es que esta radiación, en dosis adecuadas, es necesaria para la síntesis de la vitamina D, que es uno de los factores esenciales que permite la acumulación de calcio en los huesos. Por esta circunstancia, en los ambientes de baja insolación prosperaron los individuos cuyas características genéticas, su diseño, ocasionaban que las células de la piel sintetizaran menos melanina, lo que permitía tener la piel más clara.

Hoy, gracias al desarrollo cultural y tecnológico, no necesitamos permanecer sometidos a nuestro diseño evolutivo. Los individuos de piel muy blanca disponen de todo un surtido de cremas y lociones protectoras que compensan su deficiencia de

melanina cuando se exponen al sol. Y los individuos de piel oscura, rica en melanina, no tienen que preocuparse si su dermis no es capaz de sintetizar la vitamina D necesaria cuando habitan en territorios de muy baja insolación. Numerosos alimentos, productos enriquecidos y preparados farmacéuticos les proporcionarán el complemento necesario de vitamina D. Pero el hecho de que la tecnología nos permita obviar las limitaciones de nuestro diseño no impide que sea interesante conocer cómo la evolución nos ha moldeado a través del tiempo. Veamos otro ejemplo.

La reproducción sexual, que luego consideraremos con más detalle, consiste en la unión de un gameto masculino (que porta los genes del macho) con un gameto femenino (que porta los genes de la hembra). Los mecanismos que ha diseñado la evolución para que tal encuentro tenga lugar son variados, en ocasiones exóticos y a veces estrafalarios. Entre nosotros, los mamíferos, la modalidad de procreación diseñada fue la cópula, acto complejo mediante el cual los gametos del macho se depositan en el interior del aparato genital de la hembra y allí, en esa húmeda y templada intimidad, sucede la fecundación y la creación del nuevo ser. Hoy los avances de la genética y de las técnicas de fertilización *in vitro* están revolucionando la biología de la reproducción al desvincular el sexo de la procreación, y sortear con éxito un diseño que es el resultado de muchos millones de años de evolución.

Consideremos otro ejemplo ilustrativo, más cercano al asunto de este libro. La evolución ha diseñado en los mamíferos un método perfecto para nutrir a las crías recién nacidas hasta que son capaces de alimentarse por sí mismas: la lactancia. A lo largo de millones de años las fuerzas que mueven la evolución han conseguido que las hembras de los mamíferos posean mamas productoras de leche con las que alimentar a sus crías. El resultado de esta evolución es que las hembras de la especie

humana poseen pechos productores de leche con los que alimentar a su bebé. Así, la lactancia materna es la consecuencia de un diseño específico para resolver un problema evolutivo concreto.

Hasta hace unas pocas décadas resultaba imposible o muy difícil escapar a este diseño y hacer que un bebé saliera adelante sin la leche materna. Hoy día las cosas han cambiado gracias al desarrollo tecnológico, hasta tal punto que un hombre puede criar a un niño desde el nacimiento, sin ayuda de ninguna mujer, mediante la lactancia artificial.

Vemos cómo los seres humanos mediante una combinación de inteligencia, tecnología y adaptaciones culturales y sociales son capaces, en ocasiones, de circunvalar su diseño evolutivo y dar soluciones nuevas y eficaces a viejos problemas. Un pequeño avance cultural o tecnológico es capaz de solucionar eficazmente problemas que a la evolución le ha costado resolver muchos millones de años. Pero aunque así sea, esto no significa que no sea útil saber cuáles son las bases evolutivas de las reglas del juego. Y de esto precisamente trata este libro. Por eso nunca hay que perder de vista a lo largo de sus páginas que estamos tratando de analizar nuestra evolución biológica, considerar todos los problemas que se les plantearon a nuestros ancestros para poder adaptarse y sobrevivir en un mundo inhóspito y cambiante, e intentar averiguar qué soluciones encontró la evolución biológica para resolverlos. Es una historia de millones de años, a lo largo de los cuales nuestros ancestros, para sobrevivir, tuvieron que desarrollar esa prodigiosa construcción biológica que es el cerebro.

1

La reproducción sexual

Somos esclavos de nuestros genes

Cada carácter concreto de un ser vivo, ya sea el poder patógeno de una bacteria, la forma de las hojas de una planta o el color de los ojos de una persona, está determinado por los genes.

Un gen es un fragmento de una molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN) que contiene la receta para fabricar una proteína. Estas proteínas pueden ser enzimas, que son las moléculas que controlan las reacciones bioquímicas; pueden ser transportadores, que son los encargados de conducir las diversas sustancias a través de los compartimentos de nuestro organismo; o inmunoglobulinas, encargadas de nuestra defensa inmunológica contra los agentes extraños. Las proteínas también pueden ser hormonas que controlan los procesos fisiológicos; y neurotransmisores, que son las moléculas que hacen que nuestro cerebro funcione. Cualquier proceso o característica de nuestro organismo está controlado o sucede gracias a la intervención de una o varias proteínas. Y los planos para fabricar esas proteínas se albergan en los genes.

Las células de los mamíferos tienen dos juegos de genes: todos los genes están duplicados. Es como si nuestro genoma estuviera formado por dos barajas completas de cartas de diferentes fabricantes: aunque el dibujo y los colores no fueran exactamente iguales, habría dos ases de oros, dos reyes de bastos o dos representaciones del tres de copas, y cada una de estas cartas tendría las mismas funciones en el juego de la vida, con independencia de que cada una proceda de un progenitor: una de la madre y otra del padre.

Ya que cada función de nuestro organismo, cada sentimiento, cada instinto, cada emoción depende de la expresión de determinados genes, estas minúsculas agrupaciones moleculares gobiernan los más variados aspectos de nuestras vidas, desde la concepción hasta la muerte. Somos en cierta medida esclavos de nuestros genes.

Podemos considerar el gen como una estructura molecular cuyo único interés es conseguir hacer tantas copias de sí mismo como sea posible y dispersarlas. Richard Dawkins sugería que realmente nosotros y todos los animales somos máquinas creadas por nuestros genes; nuestros cuerpos serían meros envases desechables, diseñados con exquisito cuidado por los genes para albergarlos y reproducirlos. Cuando el potencial reproductor se agota, el envase inservible se elimina.

Bajo el dominio de los genes, las fuerzas que constituyen el fundamento de la vida de los seres vivos son tres. Por un lado, la alimentación, que proporciona los nutrientes y la energía necesaria para el desarrollo y funcionamiento de este portagenes que es el cuerpo; su estímulo eficaz es el hambre. Por otro lado, la supervivencia, que obliga al organismo a reaccionar con eficacia para defenderse de cualquier peligro que le amenace; su argumento más poderoso es el miedo al dolor. Y, por último, la reproducción, que es el fin y la razón de las precedentes, y que está garantizada por el más potente y eficaz de los estímulos,

que incluso es capaz de anular a los anteriores: el deseo sexual.

A lo largo de las páginas que siguen se mostrarán numerosos ejemplos del egoísmo de los genes y de las funciones que este mecanismo universal ha desempeñado en nuestra evolución. Pero ahora afiancemos el concepto de «egoísmo genético» mediante un caso especialmente dramático: el apareamiento de la mantis religiosa. El macho de este insecto es de un tamaño muy inferior al de la hembra. Cuando llega la época de apareamiento, unos potentes estímulos brotan desde su interior y le obligan a buscar una compañera con la que aparearse. La dama es tan agresiva y tan voraz que en cuanto tiene al macho a su alcance, incluso en plena cópula, comienza a devorarlo por la cabeza. El egoísmo de los genes del macho de la mantis y su deseo de multiplicarse en muchas copias le obligan a este sacrificio. Llegado el momento, en el organismo del macho comienzan a expresarse ciertos genes, que ponen en marcha determinados neurotransmisores y hormonas que fuerzan al incauto a buscar su perdición, mientras trasvasa su material genético al cuerpo de su desconsiderada pareja.

Como veremos más adelante, el egoísmo de los genes adopta formas diversas, pero siempre con el mismo fin: lograr la mayor eficacia en la multiplicación y en la dispersión de las copias de sí mismos. Una de las maneras más cínicas que emplean los genes para alcanzar sus objetivos consiste en camuflar su propio egoísmo bajo un comportamiento altruista. Una avecilla que anida entre los cantos rodados de los ríos y se alimenta de los insectos que encuentra bajo las piedras, cuando advierte que algún depredador se aproxima a su nidada, simula estar enferma y comienza una pantomima de andar renqueante, arrastrando un ala. La representación es tan real que parece que la avecilla se encuentra en las últimas. El depredador, atraído por la presa moribunda y supuestamente fácil de atrapar, la persigue sin lograr darla alcance. Cuando ya se han alejado lo

suficiente de la nidada, la avecilla recupera milagrosamente su vitalidad y de un vuelo deja al cazador perplejo y hambriento. Los genes facultan a esta ave para que ante una emergencia cerca del nido ponga en marcha unos determinados circuitos cerebrales que alteran la forma de andar, incluso relajan los músculos de una de las alas para que cuelgue inerte, arrastrando por el suelo. A los genes no les interesa en este caso salvaguardar un sólo envase que es el ave, sino los numerosos envases que son sus crías. El ave se sacrifica para preservar sus propios genes en los de sus crías. Este mecanismo de altruismo genético se pone en evidencia cuando el acoso se produce a un ave aún sin nidada; en este caso la avecilla no pierde el tiempo con parodias inútiles y huye lo antes posible.

La reproducción sexual

Los genes han ideado numerosos mecanismos para multiplicarse y para que se garantice la fidelidad de las copias respecto al original, pero la forma más eficaz, y por eso la más extendida en los reinos vegetal y animal, es la reproducción sexual.

La característica más importante de la reproducción, desde el punto de vista evolutivo, no es que de un huevo de gallina salga una gallina, o que un ser humano dé vida a otro ser humano; lo que sí es importante es que está siendo copiado el ADN contenido en las células de aquella gallina o de esa persona. Se plantea el dilema tradicional: ¿Qué fue antes, el huevo o la gallina?, cuestión que ahora se puede resolver de acuerdo con los postulados del «gen egoísta» de Dawkins, según los cuales la gallina es la manera que tiene un grupo de genes de perpetuarse y expandirse en el mayor número posible de copias. Insistimos, los animales (el fenotipo) es la manera que utilizan los genes (el genotipo) para producir más

copias de sí mismos y dispersarlas en el territorio más amplio posible.

En la reproducción sexual se entremezclan los genes de dos individuos: un macho y una hembra. El nuevo ser resultante de esta unión recibe un juego completo de genes de cada progenitor: dos barajas completas de cartas. En la reproducción asexual sólo interviene una célula madre. La mayor parte de las células se reproducen así: duplican su material genético para luego dividirse en dos a través del proceso llamado mitosis. Abusando del símil de las cartas, las dos barajas de la célula madre se duplican en cuatro, dos para cada célula hija. Todo el ADN se replica de tal forma que al final del proceso cada célula hija contiene la totalidad del material genético de la célula madre. En la reproducción sexual se plantea un problema serio: si se produce la unión de una célula macho con otra célula hembra y cada una posee un par de juegos de genes, ¿cómo hacer para que el hijo no posea cuatro barajas de cartas? La solución está en un tipo determinado de células, las encargadas de realizar la reproducción sexual, que se llaman gametos.

En los animales mamíferos, los gametos masculinos (espermatozoides) y femeninos (óvulos) son células muy especiales que se forman en los órganos sexuales de los machos (testículos) y de las hembras (ovarios), respectivamente. La división en estas células se realiza mediante un proceso concreto llamado meiosis. Una célula progenitora de los gametos, que contiene dos juegos completos de genes, se divide en dos sin duplicar su material genético: cada célula hija se lleva completa una de las dos barajas. Por lo tanto, los gametos humanos sólo contienen un juego de cromosomas: el espermatozoide, veintidós cromosomas autosómicos y uno sexual, que puede ser X o Y; el óvulo, veintidós cromosomas autosómicos y uno sexual, que siempre es X. Cuando se produce la fecundación, es decir, la unión de un espermatozoide y un óvulo, el nuevo ser resultan-

te tendrá una dotación completa de cromosomas: veintidós pares de cromosomas autosómicos y un par de cromosomas sexuales que pueden ser XX, y el individuo será una mujer, o XY, y será un hombre.

La variabilidad genética

Aunque hemos dicho que el interés de los genes es realizar copias de sí mismos, con la mayor fidelidad posible, en la reproducción sexual se dan mecanismos capaces de generar una cierta variabilidad genética. Estos mecanismos son la recombinación y la mutación.

La recombinación genética es la consecuencia de la mezcla del material genético que aporta la madre con el que procede del padre durante el proceso de formación de los gametos; se barajan y mezclan pequeños fragmentos de las dos aportaciones. En estos delicados procesos se intercambian genes y trozos de cromosomas homólogos de uno y otro progenitor. Es como si se entremezclaran los lotes de cartas de las diferentes barajas. Aunque la cara y el tronco de una sota fueran de una baraja y las piernas fueran de otra diferente, el gen sigue cumpliendo la misma función; la nueva sota sigue teniendo su valor en el juego. Este mecanismo explica que sea posible identificar en el hijo ciertas características del padre o de la madre (la nariz, la altura o la facilidad para la música) y no otras.

La mutación es un cambio en la estructura del material genético, una modificación en la secuencia de ADN de un gen, que ocurre en el gameto masculino (espermatozoide) o en el femenino (óvulo), y que se transmite a la descendencia. No se trata de un simple cambio de colocación de un gen, como sucede en la recombinación, sino de una modificación permanente de un fragmento del ADN. En la baraja de cartas aparece,

por diversas causas, una sota con dos cabezas. La principal fuente de mutaciones es el propio proceso de replicación del ADN; en nuestra especie esto implica aproximadamente una nueva mutación por cada división celular. Además, el proceso se acrecienta por la actuación de una serie de agentes mutagénicos como son las radiaciones ionizantes, las radiaciones del sol y diversos tóxicos, como los hidrocarburos del humo del tabaco. Si la mutación ocurre en los gametos, existe la probabilidad de que se transmita a la descendencia.

Cada espermatozoide, producido por un hombre de entre veinticinco y treinta años de edad, contiene unas cien nuevas combinaciones de pares de bases (mutaciones) como consecuencia de los errores en la replicación del ADN. Por tanto, en una eyaculación normal, que contiene unos cien millones de espermatozoides, habrá unos diez mil millones de nuevas mutaciones. A medida que aumenta la edad del hombre crece la tasa de mutaciones que transportan sus espermatozoides. En las mujeres los óvulos se ven menos afectados por esas mutaciones causadas por errores en la replicación del ADN, debido a que para la formación del óvulo se requieren menos divisiones celulares que para la formación del espermatozoide. Afortunadamente, la mayor parte de las mutaciones ocurren sobre secuencias extragénicas del ADN, cuyos efectos no parecen ser tan importantes. Debemos recordar que sólo el cinco por 100 de nuestro ADN forma los genes que se expresan y que determinan funciones específicas en nuestro organismo, y el resto tiene una función silenciosa y desconocida.

El resultado del proceso de recombinación genética es la aparición de individuos que albergan una combinación nueva de genes; un ser único elaborado con el material genético heredado de sus padres pero con una nueva y única baraja de genes que le convierten en un ser singular e irrepetible.

LAS VENTAJAS Y LOS INCONVENIENTES DE LA REPRODUCCIÓN SEXUAL

La reproducción asexual no es imposible, de hecho hay numerosos ejemplos de seres vivos que se reproducen de esta forma. Las bacterias y los protozoos se dividen por simple partición celular; las esponjas marinas sueltan una célula a partir de la cual se forma una nueva colonia; algunos gusanos se reproducen al partirse en dos, y las estrellas de mar regeneran un individuo completo a partir de un trozo de su cuerpo. Algunos peces y muchos invertebrados ponen huevos que se desarrollan sin necesidad de fecundación. Pero es evidente que la mayor parte de las plantas y de los animales utilizan la reproducción sexual para multiplicar y propagar copias de sus genes. Y ¿cuál es la razón de que el sexo esté difundido tan ampliamente por la naturaleza? ¿Qué ventaja obtienen los genes con la reproducción sexual?

La reproducción sexual permite que exista una reserva de variabilidad genética. Al introducir variación en la descendencia permite que los organismos evolucionen, como luego veremos. La mezcla y la recombinación de genes amortiguan el efecto de cambios excesivamente rápidos en respuesta a las variaciones del medio. Por ejemplo, en las poblaciones de una determinada especie que viviera en climas templados, no sería ventajoso el desarrollo de adaptaciones tropicales en respuesta a una serie de veranos tórridos. Una de las ventajas que confiere la variabilidad genética es la protección contra los agentes infecciosos. Un grupo de animales que fueran genéticamente idénticos, al ser atacados por un virus, quedarían afectados todos por igual, con las mismas consecuencias patológicas, y podrían desaparecer. La variabilidad genética explica por qué ante una epidemia motivada por algún agente virulento mueren muchas personas, pero siempre alguien sobrevive.

La reproducción sexual permite la existencia de un mecanismo de barrera para preservar la pureza del material genético y para evitar que se mezclen genes procedentes de especies diferentes. De ese modo se impide que se puedan crear especies mixtas, ya que de ser así, tras millones de años de evolución se produciría una homogeneidad genética y sólo existirían unas pocas especies en todo el planeta. Y por supuesto no es probable que entre ellas estuviera la especie humana. Anomalías cromosómicas diversas y los problemas de implantación de un óvulo fecundado son los mecanismos que impiden que se produzca un acoplamiento productivo entre especies diferentes. Es decir, no se pueden barajar genes diferentes, y cuando esto ocurre, como entre el caballo y el burro, que son especies diferentes pero muy próximas genéticamente, nace la mula, que es estéril. Estas barreras genéticas tienen gran importancia en el mecanismo de la evolución. Cuando hace diez millones de años nuestro linaje evolutivo se separó del linaje de los grandes monos, estos mecanismos de barrera genética debieron de desempeñar un papel importante, como si fuera una válvula genética antirretorno. Lo mismo sucedió a lo largo del resto de las etapas evolutivas por las que han ido pasando nuestros ancestros; cada vez que se desgajó del tronco principal una nueva especie, ello fue posible porque funcionaron estos mecanismos de barrera, que permitieron a la nueva especie iniciar su propia y peculiar andadura genética.

El sexo plantea algunos inconvenientes para el fin de los genes, que, como sabemos, es el de multiplicarse lo más que puedan. En principio, a diferencia de lo que sucede en la reproducción asexual (se transmite el cien por cien del material genético a cada célula hija), con el sexo se reduce al cincuenta por 100 la posibilidad de transmisión de un determinado gen. El sexo acrecienta el riesgo para la supervivencia de los organismos portadores de los genes: se favorecen las enfermedades

de transmisión sexual, la transmisión de parásitos o se expone a los portadores de los genes al peligro que implica la búsqueda y el cortejo de la pareja adecuada.

Uno de los mayores inconvenientes de la reproducción sexual es su escasa eficacia. Por ejemplo, en el ser humano: sólo del veinte al treinta y cinco por 100 de los óvulos fecundados concluyen en un embarazo con éxito. Y en el resto de los mamíferos se dan tasas similares. Aunque es muy variable la eficacia reproductora entre mamíferos, es como si existiera una limitación natural al éxito reproductor. En la mayor parte de los casos estas pérdidas de óvulos fecundados se producen porque existen anormalidades cromosómicas o defectos de implantación del óvulo fecundado en la mucosa uterina; otras veces es a causa de las incompatibilidades inmunológicas entre la madre y el feto, como veremos más adelante. En cualquier caso, estos abortos espontáneos tienen como misión eliminar un feto con tal grado de anormalidades que harían inviable su supervivencia en la vida extrauterina; son un mecanismo de defensa para evitar la inversión de cuantiosos recursos maternales en una cría que no tendría posibilidades de propagar los genes de los padres.

¿Cómo se desarrolla una hembra?

La reproducción sexual exige que intervengan en el proceso dos individuos de la misma especie, un macho y una hembra, y que, bajo determinadas circunstancias, surja entre ambos una atracción irresistible que les obligue a mezclar sus genes mediante la fecundación.

El sexo genético es la primera etapa de la diferenciación sexual. Se establece en el momento de la concepción, cuando se fusiona el núcleo de un espermatozoide con el núcleo del óvu-

lo y se mezclan los genes de ambos. Ya vimos que en los seres humanos los óvulos siempre tienen una dotación cromosómica 23X, mientras que los espermatozoides pueden ser 23X o 23Y. La célula diploide que resulta de la fusión de ambos gametos puede tener, por tanto, un genotipo femenino (46XX) o un genotipo masculino (46XY).

Si el sexo genético del nuevo ser es masculino, es decir, posee un cromosoma Y, se desarrollarán en el feto los testículos, y a partir de la séptima u octava semana se iniciará la producción de hormonas masculinas (testosterona y dihidrotestosterona). Desde este momento estas hormonas gobernarán el resto de los procesos en el embrión, como son el desarrollo de los órganos sexuales internos y externos y la aparición del fenotipo masculino. Aunque la diferenciación sexual requiere que participen numerosos genes (más de treinta) localizados en varios cromosomas, el producto de un solo gen del cromosoma Y, denominado gen SRY o FDT (factor determinante del testículo), es el que pone en marcha los mecanismos necesarios para transformar el tejido gonadal indiferenciado del embrión en los testículos.

Si el sexo genético del nuevo ser es femenino, no posee el cromosoma Y, no posee el gen SRY y no produce el FDT. En estas condiciones el tejido embrionario indiferenciado da origen a los ovarios, en lugar de a los testículos. El sexo gonadal femenino se completa en varias etapas. En primer lugar, unas dos mil células germinales que se localizan en los ovarios primitivos, en las primeras semanas de vida, se multiplican dividiéndose por mitosis hasta constituir las oogonias, cada una dentro de un folículo ovárico. En estas células comienza la meiosis, es decir, la división celular para reducir a la mitad la dotación genética. Antes del nacimiento todos los oocitos primarios ya han iniciado la primera fase de la meiosis, pero se quedan detenidos en plena división, en la llamada profase I, hasta la pubertad. La

ausencia de andrógenos y la producción creciente de estrógenos por las células de los folículos ováricos ocasionan que en el embrión se desarrollen los ovarios, las trompas de Falopio y el útero y los genitales femeninos externos.

El sexo somático se va perfilando a lo largo de la infancia y, en especial, durante la pubertad. La niña nace con sus órganos sexuales internos y externos bien formados y en sus ovarios almacena unos dos millones de oocitos detenidos en plena meiosis. A lo largo de la pubertad el incremento en la producción de hormonas sexuales femeninas, estrógenos y progestágenos, desencadena el resto de caracteres sexuales secundarios. Se modifica la forma de distribución de la grasa corporal, se detiene el crecimiento del vello, comienzan a desarrollarse las mamas y se pone en marcha la actividad cíclica ovárica. Los primeros aumentos de estrógenos y progesterona en sangre inducen el crecimiento de la mucosa uterina que, si no hay fecundación, se expulsa al exterior con algo de sangre durante la menstruación. Se inicia así el ciclo ovárico o ciclo menstrual, que permanecerá activo hasta la menopausia.

Al final de la pubertad quedan en los ovarios unos trescientos mil oocitos primarios, que se irán gastando en las ovulaciones o destruyendo a lo largo de la vida. Durante el ciclo ovárico, al producirse la maduración de los folículos, el oocito primario se transforma en oocito secundario, que cumple una fase más de la meiosis durante la ovulación. La meiosis del óvulo sólo concluirá si hay fecundación.

Para que los genes contenidos en un espermatozoide se junten con aquellos contenidos en un óvulo es requisito indispensable que un macho y una hembra se encuentren y se gusten; el mecanismo que permite este contacto es la llamada atracción sexual. La atracción sexual, como luego veremos con más detalle, es fruto de mecanismos cerebrales que residen en áreas específicas del cerebro. Estas áreas se ven afectadas durante su

desarrollo embrionario por numerosos factores, entre los que destaca la influencia que ejerce el tipo y concentración de las hormonas sexuales que circulan por la sangre del feto. Un ambiente embrionario abundante en hormonas masculinas desarrolla las áreas cerebrales que determinan la atracción sexual hacia las hembras. Por el contrario, un ambiente embrionario abundante en estrógenos favorece el desarrollo de las áreas cerebrales que determinan la atracción sexual hacia los machos. Aunque la mayor parte de los mecanismos que determinan la atracción sexual están fijados ya en el momento del nacimiento, no se descarta que otras influencias ambientales durante la niñez puedan moldear este comportamiento. De todas formas, la atracción sexual en el ser humano es muy difícil de modificar una vez que se ha fijado en los primeros años de vida. En la adolescencia, que es cuando se manifiesta la atracción sexual, lo que ocurre es como si se revelase entonces un negativo que se hubiera impresionado mucho antes, durante la vida intrauterina o en los primeros años de niñez.

BIBLIOGRAFÍA

Dawkins, R., *El gen egoísta. Las bases biológicas de nuestra conducta*, Salvat, Barcelona, 1993.

—, *El relojero ciego*, Labor, Barcelona, 1988.

Gill, T. J., «Genetic factors in reproduction and their evolutionary significance», *American Journal of Reproductive Immunology*, 37, 1997, pp. 7-16.

Migeon, C. J., y A. B. Wisniewski, «Sexual differentiation: from genes to gender», *Hormone Research*, 50, 1998, pp. 245-251.

Ridley, M., *Genoma. La autobiografía de una especie en 23 capítulos*, Taurus, Madrid, 2000.

Tresguerres, J. A. F., E. Aguilar, J. Devesa y B. Moreno, *Tratado de endocrinología básica y clínica*, Síntesis, Madrid, 2000.

En Internet:

Harrub, B., y B. Thompson, *Evolutionary theories on gender and sexual reproduction*: *http://www.trueorigin.org/sex01.asp*

2

La evolución de la especie humana

Los mecanismos de la evolución

La especie humana, como el resto de los seres vivos que pueblan nuestro planeta, es el resultado del proceso que denominamos evolución biológica. Como ha señalado el científico español Francisco Ayala, el origen evolutivo de los organismos es hoy una conclusión científica establecida con un grado de certeza comparable a la redondez de la Tierra, la traslación de los planetas alrededor del Sol o la composición molecular de la materia.

Para mucha gente la teoría de la evolución se resume así: el hombre viene del mono. Pero el origen evolutivo de los seres humanos y del resto de los seres vivos es algo mucho más complejo: la evolución biológica es el proceso que permite el cambio y la diversificación de los organismos a través del tiempo. La forma de nuestro cuerpo, la estructura de los huesos, el mecanismo de contracción de los músculos, el funcionamiento de nuestros órganos digestivos, la filtración de la orina, la circulación de la sangre, la estructura y la función de nuestros órganos sexuales, la actividad del cerebro, nuestro metabolismo, los en-

zimas que trabajan afanosos dentro de nuestras células, el calcio que se acumula en nuestros huesos; todo ello es el resultado de millones de años de evolución biológica.

La evolución se escribe en el lenguaje de los genes. Toda la historia de los tres mil millones de años de evolución biológica está escrita en nuestros genes. El genoma es como un libro en el que apenas se borra nada de lo que esté ya escrito, y sobre el que, sin embargo, se van añadiendo continuamente más párrafos. El propósito fundamental de los genes es almacenar la información acerca de las estructuras y las funciones de cada ser vivo. Cada nueva propiedad surgida en algún ser vivo en el transcurso de la evolución requirió un nuevo gen para codificar esa información, y éstos se fueron incorporando al genoma del siguiente ser en la escala evolutiva.

El genoma humano es un auténtico rompecabezas de algo más de treinta mil genes que almacenan información muy diversa, no siempre de utilidad para el ser humano actual. Nuestro genoma contiene algún gen que no ha cambiado desde que lo albergaban las primeras criaturas unicelulares que poblaban el lodo primitivo, hace miles de millones de años. También poseemos numerosos genes que se desarrollaron cuando nuestros ancestros eran gusanos. Tenemos genes que deben de haber aparecido por primera vez cuando nuestros antepasados eran peces que se esforzaban por abandonar el agua y caminar por la tierra. Una parte fue común con el genoma de los dinosaurios y con el de sus descendientes, las aves. Gran parte de nuestros genes los compartimos con los mamíferos. Y un noventa y nueve por 100 de nuestros genes son idénticos a los que posee cualquier chimpancé, de los que nos separamos evolutivamente hace apenas diez millones de años. Incluso los últimos estudios muestran que nuestra identidad genética con el chimpancé es de tal magnitud que se ha propuesto que se incluya a este primate en el género *Homo*, el nuestro.

Cada vez que, a lo largo de la evolución, se incorporó a nuestra especie una determinada característica, ello sólo pudo haber ocurrido si previamente se introdujo en nuestros genes la información necesaria para que tal función fuera posible. Por ejemplo, las hembras de la especie humana acumulan gran cantidad de grasa en sus senos, de tal forma que superan con creces el tamaño de los senos del resto de las hembras primates. Este rasgo debió de aparecer en nuestra evolución en un momento determinado que ya analizaremos. Para que se acumule gran cantidad de grasa en las mamas se requiere la información genética necesaria para organizar y promover la proliferación de las células grasas en esas localizaciones y dotar a esos adipositos de los receptores y los enzimas que permitan a esas células llenarse de grasa. Es evidente que esa información genética no la expresan nuestras primas, las hembras de los primates, así que debió de modificarse nuestro genoma para incorporar la información necesaria y permitir así tal ventaja para la hembra humana. En este punto conviene dejar bien claro que la evolución no es un proceso orientado hacia una meta determinada, sino que se fundamenta en la improvisación permanente. La naturaleza va tanteando y probando, descartando lo inútil y conservando lo ventajoso. En el ejemplo que acabamos de mostrar, la naturaleza no pensó «vamos a proporcionar unas mamas grandes a estas hembras y así podrán amamantar mejor a sus crías en el futuro». No, aunque se albergue la tentación de pensar en estos términos. Ya veremos que la situación es diferente: mediante ciertas mutaciones azarosas y sin finalidad, algunas hembras de homínidos desarrollaron grasa en sus pechos, y lo que a la larga fue ventajoso para su reproducción, persistió y se acrecentó.

Sólo son susceptibles de evolución aquellos caracteres que se encuentran codificados en los genes. Un individuo puede cambiar en algunos aspectos esenciales de su morfología o de

su fisiología por influencia del medio, pero estos cambios no se heredan. Por ejemplo, un niño puede criarse en condiciones de desnutrición y por ese motivo ser de talla baja; sus primos, que tienen una composición genética parecida, pueden desarrollarse en un ambiente de abundancia y ser más altos. Pero esas modificaciones, que han sido consecuencia de la influencia del ambiente, no se transmitirán a sus descendientes, porque no han modificado la estructura de su material genético. Para que un cambio se transmita a la descendencia, la información nueva que determina tales modificaciones tendrá que estar contenida en los genes. Desde este punto de vista la evolución se podría definir como un proceso de cambio en la constitución genética de los organismos a través del tiempo.

Los dos mecanismos que permiten la variación genética necesaria para que ocurra la evolución son la mutación y la recombinación genética, que ya hemos comentado. Así, en la reproducción sexual se pueden combinar (procedentes de cada progenitor) mutaciones favorables, que pueden ser seleccionadas porque confieren una ventaja adaptativa, y mutaciones desfavorables, que serán eliminadas si el ambiente no es el propicio para que prosperen. Es decir, que una mutación genética, por sí sola, nada significa; las mutaciones sólo son importantes cuando permiten la supervivencia y la reproducción del individuo en unas determinadas condiciones ambientales. Como veremos a continuación, la fuerza motriz de la evolución siempre son los cambios que se producen en el medio ambiente, y en el caso de la especie humana lo fueron las condiciones climáticas de frío y de sequía que dominaron el mundo durante largos periodos en los últimos millones de años. Somos hijos del hambre.

La selección natural

El mecanismo fundamental que dirige la evolución de los seres vivos es la llamada selección natural. Es el proceso que explica la adaptación de los organismos a un ambiente en cambio continuo y la correspondiente evolución de su estructura y de su función. La selección natural actúa a través de las modificaciones en el éxito reproductor: los individuos que poseen características hereditarias más ventajosas dejan más descendientes que los que carecen de ellas, y así multiplican y dispersan, a su vez, la mutación heredada que les confirió tal ventaja.

El concepto de selección natural fue formulado por Darwin a partir de sus propias observaciones, basadas en las experiencias de agricultores y ganaderos y en las técnicas que utilizaban para obtener variantes de animales y de plantas para conseguir un mayor beneficio comercial (vacas más productivas, manzanas más dulces, y rosas más bellas); ésta es la llamada selección artificial. Darwin escribía: «¿Podemos dudar de que los individuos que tienen ventaja, por ligera que ésta sea, sobre otros, tendrán más probabilidades de sobrevivir y reproducir su especie? ... Esta conservación de las diferencias y variaciones favorables de los individuos y la destrucción de las que son perjudiciales es lo que yo he llamado selección natural».

En estos procesos la clave es el éxito reproductor. En la selección artificial, el que determina el éxito reproductor es el propio ganadero: permite que se crucen y, por lo tanto, procreen las vacas que dan más leche y se lo impide a las que dan poca. Así se van seleccionando en el rebaño las características más beneficiosas, las que interesan al ganadero, las que incrementan la rentabilidad económica.

En definitiva, el concepto actual de la evolución biológica sugiere que en la naturaleza las variaciones más favorables,

desde el punto de vista del organismo, son las que incrementan la probabilidad de supervivencia y de reproducción; tales variaciones serán entonces preservadas y multiplicadas de generación en generación, acumulándose a causa de que sus portadores están mejor adaptados al ambiente y sobreviven y se reproducen con más eficacia. La selección natural tiene lugar como consecuencia de las diferencias en la supervivencia, en la fertilidad y en el ritmo de desarrollo, en el éxito a la hora de encontrar pareja o en cualquier otro aspecto que condicione el ciclo vital.

Tiempo y evolución

La evolución biológica es, por tanto, la consecuencia de cambios pequeños que pueden llegar a ser grandes por acumulación, al cabo de muchas generaciones, a lo largo de cientos de miles de años, de millones de años.

En efecto, un elemento esencial en la evolución biológica es el factor tiempo. Las modificaciones infinitesimales que se producen en el material genético a veces proporcionan a sus portadores pequeñísimas ventajas que sólo llegan a imponerse tras miles de generaciones. La evolución biológica sucede a lo largo del tiempo geológico, que se mide en millones de años. Y éste es uno de los problemas que surgen cuando nos enfrentamos al estudio de la evolución: la enorme dificultad que entraña la percepción de estas desmesuradas dimensiones temporales.

Nuestro cerebro sólo ha evolucionado lo suficiente para registrar los espacios de tiempo que fueron de utilidad para la supervivencia de nuestros antecesores. Así, el día y la noche los captamos con total claridad; también somos capaces de asimilar sin dificultad el tiempo que transcurre desde una luna llena hasta la siguiente; incluso percibimos sin problemas las estaciones del año; finalmente, aunque con menos precisión, tam-

bién somos capaces de contemplar retrospectivamente la duración de toda una vida.

Por encima de estas magnitudes temporales, que son de importancia biológica directa, esenciales para la supervivencia, necesitamos recurrir a comparaciones o a construcciones abstractas. Eso pasa ya con el siglo: sí, sabemos que son cien años, ¿y qué? Dos mil años nos dejan fríos, no entran en nuestra cabeza: sólo somos capaces de asimilar tal duración mediante el recurso de las comparaciones, el uso de referencias históricas; por ejemplo, pensamos en la época del Imperio romano y evocamos el montón de páginas que hay en un libro de historia, desde la Roma clásica hasta la actualidad. Y si se trata de considerar un periodo de doscientos mil años, eso ya es algo inabarcable: no disponemos de equipamiento neuronal ni circuitos cerebrales que nos permitan asimilar tanta duración. ¿Y qué decir de un millón y medio de años? Nada de nada; sencillamente, no somos capaces de entender tal extensión de tiempo.

¿Cómo podemos considerar algo que sobrepasa nuestra razón? ¿Se puede medir el tiempo de la evolución? Hasta hace pocos años, la duración de las etapas evolutivas se calculaba por métodos geológicos: los espacios de tiempo necesarios para provocar los cambios de los estratos donde aparecían los diferentes fósiles. Hoy día, el desarrollo de la genética y de la bioquímica permite llevar a cabo un registro mucho más exacto de los cambios moleculares o genéticos ocurridos a lo largo del tiempo, y es posible calcular la duración de la evolución utilizando los llamados «relojes moleculares». Estos relojes no son exactos, pero un reloj impreciso siempre es mejor que nada, sobre todo teniendo en cuenta las dimensiones temporales que se desea medir en estos casos.

Hoy por hoy, el análisis de los cambios en la estructura de las proteínas y del ADN constituye el mejor método para recons-

truir la historia, aún la más remota, de los linajes de los seres vivientes. Si comparamos dos organismos como el hombre y el chimpancé, observamos que el número de diferencias de su ADN (menos de un uno por 100 de los genes) es menor que las diferencias que hay entre cualquiera de ellos y el orangután. Podemos concluir que la divergencia entre estas dos especies es más reciente que entre ellos y el orangután. Es decir, que el número de diferencias en las cadenas de ADN o de proteínas es proporcional a la distancia evolutiva existente entre las especies objeto de comparación.

La contundencia de las pruebas moleculares es abrumadora y el funcionamiento del reloj molecular es bastante eficaz. Por ejemplo, una proteína como el citocromo c de los monos *rhesus* sólo difiere del de los humanos y del de los chimpancés en un aminoácido de los ciento cuatro que posee la molécula completa; la diferencia con el citocromo c del caballo es de once aminoácidos, y veintiún aminoácidos es la distancia con el atún. Cuanta mayor es la diferencia estructural entre el mismo tipo de proteína, mayor será la lejanía con respecto a un ancestro común. A mayor distancia se han tenido que producir un mayor número de mutaciones y, por lo tanto, tienen que haber transcurrido muchos más millones de años. Con estos datos se elaboran los llamados árboles filogenéticos o dendrogramas, que muestran los sucesivos parentescos moleculares de los diferentes seres vivos.

¿Qué es realmente el ser humano?

Los seres humanos pertenecemos a la clase de los mamíferos, al orden de los primates, a la familia *hominidae*, al género *Homo* y a la especie *Homo sapiens*. En biología especie se define como una comunidad reproductiva. Dos individuos pertene-

cen a una misma especie cuando pueden aparearse y esa unión es fértil, siendo también fértiles los productos de esa unión. Hoy día sólo existe una especie de *Homo sapiens*. No debemos de olvidar que toda especie representa una solución provisional de la evolución y que su destino inexorable es extinguirse, y ello incluye a nuestra propia especie: *Homo sapiens sapiens*.

Desde un punto de vista estrictamente taxonómico, pertenecemos al reino animal; es decir, somos animales, como lo son una cucaracha, una trucha, un elefante o un chimpancé. Además, nos clasificamos dentro de los cordados, puesto que poseemos columna vertebral; de este grupo tenemos que excluir a la cucaracha, si bien seguimos emparentados con la trucha, el elefante y el chimpancé. De entre los cordados, pertenecemos a la clase mamíferos: los animales cuyas crías se alimentan de la leche secretada por la madre; de este grupo nos vemos obligados a excluir la trucha. Dentro de los mamíferos, se nos incluye en el orden de los primates; ahora es el elefante quien quedará excluido de tan selecto club, en el que sólo estará admitido el chimpancé, como ejemplo del resto de los primates, que son nuestros auténticos primos hermanos. El parentesco entre ellos y nosotros es especialmente estrecho en los llamados monos antropomorfos, como son el chimpancé, el gorila y el orangután.

A juzgar por los dientes, las manos, los ojos y otros rasgos anatómicos es evidente que somos primates, aunque unos primates sumamente raros. Por tanto, no es correcto decir que el hombre desciende de los monos, como si ya no lo fuéramos; los seres humanos continuamos siendo tan primates como cualquier otra de las aproximadamente ciento ochenta especies vivientes. Pero no hemos evolucionado a partir de ninguna de las especies que en la actualidad integran el grupo, sino desde especies ya desaparecidas, que también fueron antepasados de los otros primates que viven hoy.

La evolución de la especie humana

Hasta hace relativamente pocos años, el estudio de la evolución de la especie humana se basaba exclusivamente sólo en la paleoantropología, es decir, en el estudio de unos pocos fósiles, casi todos fragmentos incompletos y muy deteriorados: un diente, un trozo de mandíbula, un pedazo de cráneo, un fémur o un fragmento de hueso del pie. Sólo una pequeña proporción de homínidos, gracias a una serie de circunstancias extraordinarias, han llegado a preservarse a lo largo de millones de años como fósiles. Y sólo se ha descubierto una pequeñísima fracción de estos fósiles; la mayoría aún permanece oculta. Además, hasta hace unos pocos años no se ha conseguido datar la antigüedad de los fósiles con exactitud. A este respecto, D. Pilbean y S. J. Gould ironizaron en cierta ocasión sobre que la paleontología humana compartía un aspecto peculiar con materias tan dispares como la teología y la biología extraterrena: que las tres tenían más practicantes que objetos que estudiar.

En los últimos años la situación ha cambiado drásticamente. Disponemos de numerosos restos fósiles, bien datados mediante sofisticadas y precisas técnicas magnéticas y radiométricas, y se han incorporado al estudio los poderosos métodos de la genética; algunos huesos no están tan secos como pudiera parecer y hasta se dejan extraer proteínas y ADN de sus estructuras.

En la actualidad se conocen bastante bien las ramas principales de nuestro árbol (o arbusto) evolutivo, y para analizar con detalle las diferentes teorías, remitimos al lector a los textos especializados que se citan en la bibliografía. Los datos que poseemos en la actualidad demuestran, fuera de toda duda razonable, que el hombre evolucionó desde un antecesor primitivo, compartido con el resto de los primates, hasta su forma

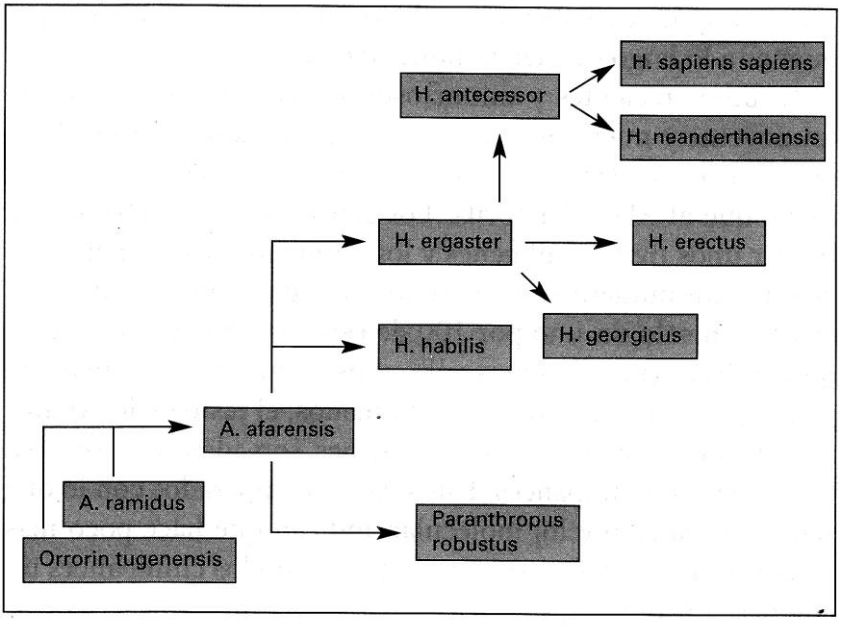

FIGURA 2.1. Árbol simplificado de la evolución humana.

Según el estado actual de las investigaciones genéticas y paleoantropológicas, nuestros ancestros más antiguos están representados por *Orrorin tugenensis* y *Ardipithecus ramidus,* cuyos fósiles han sido datados entre seis y cuatro millones de años de antigüedad. A estos homínidos primitivos les siguieron numerosas especies de australopitecinos, cuya característica principal es que ya poseían la facultad de la bipedestación; su fósil más famoso es el esqueleto casi completo de una hembra jóven que vivió en lo que hoy es Etiopía hace más de tres millones de años (*Australopithecus afarensis*). A partir de esta fecha, comienzan a aparecer restos fósiles de los representantes del género *Homo*. Destaca *Homo ergaster,* del que se posee un esqueleto muy completo de un joven que vivió hace casi dos millones de años (Joven de Turkana). Este antepasado ya fabricaba útiles de piedra y se alimentaba de carroña, de peces y de pequeños animales. Los *Homo ergaster* abandonaron África y colonizaron Eurasia, diversificándose en otras especies. Algunos *Homo ergaster* que permanecieron en África dieron lugar a los *Homo antecessor* hace un millón de años, que constituyen el pilar fundamental del que derivaron más tarde los *Homo neanderthalensis* y los *Homo sapiens sapiens*, es decir, nosotros.

actual después de haber acumulado cambios relativamente pequeños a lo largo de diez millones de años.

Estudios recientes y minuciosos señalan una identidad de un noventa y nueve por 100 entre el genoma humano y el del chimpancé; el ADN del chimpancé se parece más al ADN humano que al ADN del gorila. Los seres humanos debemos de poseer unos treinta mil genes y los chimpancés albergan en su genoma un número similar. Si consideramos que nos diferenciamos en sólo un uno por 100 de este material genético, esto quiere decir que poseemos sólo unos cuatrocientos cincuenta genes que sean exclusivamente humanos; el resto de los veintinueve mil quinientos cincuenta genes son idénticos en nosotros y en los chimpancés. Estos datos, comparados con lo que señala el llamado reloj molecular, indican que hace poco más de cinco millones de años compartimos con los chimpancés un antepasado común.

La diferencia más visible entre el material genético de los seres humanos y el de los chimpancés es que éstos tienen un par de cromosomas más que los humanos. En algún momento del pasado dos cromosomas de tamaño mediano se fusionaron en alguno de nuestros antepasados más lejanos, para formar el gran cromosoma humano, el cromosoma 2. Esto pudo ocasionar un aislamiento reproductivo que impedía el cruce productivo entre individuos que portaban una distribución cromosómica tan diferente. Se creó de esta forma una auténtica válvula evolutiva antirretorno que obligó a que ambas especies iniciaran andaduras cada vez más divergentes. Tenemos una prueba en lo que sucede con los caballos y los asnos actuales; la diferencia genética entre ambos es algo menor que la que existe entre humanos y chimpancés, lo que permite que sus gametos puedan fusionarse, aunque el producto resultante (el mulo o la mula, que tanto da) sea estéril. También los caballos tienen un par de cromosomas más que los asnos.

El proceso de la evolución de la especie humana, en su conjunto, se puede subdividir en tres grandes etapas: la transformación de la dentadura, que permitió la desaparición de los colmillos y la reducción del tamaño de la mandíbula; el logro de la bipedestación, es decir, el conjunto de cambios que permitieron andar sobre las dos piernas, y la encefalización, que comprende el desarrollo del cerebro hasta alcanzar su volumen y su complejidad actuales. Durante este dilatado periodo, que en su mayor parte transcurrió en África, surgieron numerosas especies intermedias, intentos fallidos que fueron desapareciendo por su falta de adaptación a las condiciones cambiantes.

La evolución de nuestra especie hasta nuestros días fue una permanente lucha contra el clima y contra el hambre. Toda nuestra adaptación morfológica, fisiológica y conductual se concentró en sobrevivir en la lucha contra los milenios de sequía, los milenios de frío glacial y el hambre constante. El clima fue en estos millones de años de evolución nuestro mayor enemigo y, a la vez, nuestro maestro más severo. Las modificaciones evolutivas de nuestro encéfalo, nuestras manos liberadas, nuestros pies capaces de caminar sin necesidad de las manos, el desarrollo de la vida familiar y social, todos estos logros fueron el resultado inesperado y selectivo de la inclemencia del clima en los últimos millones de años. Se ha dicho que somos el fruto del azar y de la necesidad y, para ser más exactos, en lo que atañe a la especie humana habría que añadir: y del hambre.

Bibliografía

Arsuaga, J. L., e I. Martínez, *Atapuerca y la evolución humana*, Fundació Caixa Catalunya, Barcelona, 2004.

Ayala, F. J., *La teoría de la evolución. De Darwin a los últimos avances de la genética*, Temas de Hoy, Madrid, 1994.

Dobzhansky, T., F. J. Ayala, G. L. Stebbins y J. W. Valentine, *Evolución*, Omega, Barcelona, 1988.

Gould, S. J., *El libro de la vida,* Crítica, Barcelona, 1993.

Lewin, R., y R. A. Foley, *Principles of Human Evolution*, Blackwell Science, Oxford, 2004.

En Internet:

Excelente y amplio material iconográfico sobre la evolución humana en:

http://www.modernhumanorigins.com/hominids.html

http://www.becominghuman.org/

Todo sobre los descubrimientos en Atapuerca en:

http://www.ucm.es/info/paleo/ata/portada.htm

3

LUCY

LAS PRIMERAS EVAS

SEGÚN MUESTRA LA CIENCIA, fue en el seno de las zonas boscosas del este de África, en algún lugar remoto situado entre Kenia y Etiopía, donde comenzó nuestra historia evolutiva hace unos cinco o seis millones de años.

El primer paso en la historia de la humanidad se dio cuando la línea evolutiva de los monos antropoides (gorilas, orangutanes y chimpancés) se separó de la línea evolutiva de los homínidos. Existen algunos fósiles de esa época que son firmes candidatos a representar a nuestros más primitivos antecesores. Uno de estos fósiles fue descubierto en el año 2000 por un equipo franco-keniata de paleoantropólogos. Hallaron en Kenia los fósiles de un homínido con seis millones de años de antigüedad: *Orrorin tugenensis*. Un húmero, hueso del brazo, robusto indica que se desenvolvía con facilidad por las ramas de los árboles, pero la estructura de dos fémures, que son los huesos de los muslos, sugiere que estos antepasados ya practicaban algún tipo de marcha bípeda ocasional. Esta especie data de la época en la que el reloj bioquímico y las investigaciones gené-

ticas señalan el momento de divergencia de nuestra línea evolutiva con la del chimpancé.

En 1992, el equipo de excavaciones que dirigía Tim White trabajaba en la región del curso medio del río Awash, en el país de los Afar, en lo que actualmente es Etiopía. Un afortunado golpe de suerte permitió descubrir un conjunto de fósiles de homínidos muy antiguos. Se trataba de restos de formas muy primitivas de hominoideos, de cuatro millones cuatrocientos mil años de antigüedad. Era una nueva especie de homínido: *Ardipithecus ramidus*.

Los fósiles del que hoy se considera uno de nuestros primeros antepasados, *Ardipithecus ramidus*, han aparecido siempre junto a huesos de otros mamíferos cuya vida estaba ligada al bosque. Se puede suponer, por lo tanto, que habitaba un bosque que aún era espeso, con algunos claros, y donde abundaban las frutas y los vegetales blandos, aunque el enfriamiento progresivo que se venía produciendo en esos últimos miles de años y las catastróficas modificaciones geológicas tuvieron que reducir la disponibilidad de los alimentos habituales de estos simios. Ya hemos avanzado que los cambios en las condiciones climáticas han sido el gran motor de nuestra evolución.

La desaparición de las selvas

Ya han transcurrido un millón y medio de años desde que *Ardipithecus ramidus* habitaba los bosques del este africano. Durante estos años el clima continuó su lento y progresivo deterioro. Avanzó la sequía en el este africano, como consecuencia del levantamiento de las montañas por la fractura del Rift, y se produjo un mayor enfriamiento global del planeta a causa de los cambios astronómicos y de los movimientos de la corteza terrestre, que produjo grandes cambios en el clima general de

la Tierra. Las grandes selvas lluviosas se fueron reduciendo más aún. Los bosques habían continuado clareándose y las masas boscosas se fragmentaban y quedaban aisladas, interrumpidas por extensiones abiertas de pastizales. La selva, poco a poco, imperceptiblemente, milenio a milenio, iba siendo sustituida por la sabana.

A nuestros antepasados de la especie *Ardipithecus ramidus*, que habían quedado aislados por barreras infranqueables en aquellas regiones, año tras año, milenio tras milenio, cada vez les resultaba más difícil conseguir frutos en los árboles. Sus muelas, sin la limitación de los colmillos, podían triturar vegetales más duros, pero cada vez precisaban abarcar una mayor extensión de bosque para lograr encontrar un árbol con frutos o desenterrar algunas raíces comestibles. El escenario de nuestra evolución continúa siendo el este de África, y concretamente el territorio que hoy ocupa la cuenca del río Awash en Etiopía y, más al sur, la cuenca del río Omo y el gran lago Turkana y los ríos que en él desaguan. En el tiempo al que ahora nos estamos refiriendo, hace tres millones y medio de años, toda esta zona estaba formada por bosques claros, casi todos situados en los alrededores de los ríos y en torno a los lagos, separados entre sí por sabanas de herbazales y masas de arbustos. El cambio climático había transformado la vegetación y, en consecuencia, sobrevivieron los animales cuya evolución les había permitido encajar en el nuevo nicho ecológico.

En estas condiciones, nuestros antecesores se veían obligados a aventurarse en espacios abiertos, ya que las fuentes de aprovisionamiento estaban más dispersas. Para alimentarse precisaban cubrir territorios muy amplios: descender de los árboles para buscar raíces y frutos y caminar por el suelo largas distancias hasta encontrar otro bosque con alimentos. Esto ocasionaba un continuo problema de supervivencia. Un chimpancé a cuatro manos puede correr con bastante velocidad, in-

cluso ello le permite escapar de un depredador; pero sólo si ha de cubrir el corto trecho preciso hasta encontrar la salvación en una rama a la que pueda trepar. Para un simio con la estructura ósea de un chimpancé es muy dificultoso recorrer, con su andar bamboleante, largas distancias por la sabana desarbolada y ardiente hasta llegar a otra masa boscosa.

La cadera de Lucy

En 1974, un equipo de investigadores dirigidos por Donald Johanson que trabajaba en el curso del río Awash, en Afar, Etiopía, encontró un esqueleto casi completo de una hembra de homínido. Las dataciones con las técnicas más precisas señalaron que la propietaria de la osamenta había vivido en aquella zona hacía tres millones doscientos mil años. A este esqueleto se le dio el nombre de Lucy, por referencia a una canción de los Beatles, entonces de moda. Posteriormente se encontraron más huesos pertenecientes a otros esqueletos y un cráneo completo. Todos estos restos pertenecían a una nueva especie, que se denominó *Australopithecus afarensis*.

Lucy no medía más de un metro de estatura. Era una hembra joven de unos veinte años de edad, con las muelas del juicio apenas brotadas y casi sin usar, que había culminado su periodo de crecimiento, ya que tenía osificados los cartílagos de los extremos de los huesos largos. La cadera de Lucy es plenamente humana y no se parece en nada a la de los primates. Está bien adaptada al andar erguido. Su sacro es ancho (no estrecho como en los simios) y su fémur presenta una morfología moderna. Las rodillas se parecen mucho a las humanas, aunque éstas permiten una mayor movilidad y rotación.

El húmero, que es el hueso del brazo, tiene en los chimpancés un agujero oval profundo en la parte inferior, donde encaja

el cúbito, que es uno de los huesos del antebrazo. Esto hace que los chimpancés posean una articulación del codo muy resistente, lo que explica que puedan andar y correr a cuatro manos, apoyándose en los nudillos de las manos. Pero el húmero de los australopitecinos, como el de los humanos actuales, no presenta este agujero oval profundo, lo que indica que no andaban habitualmente a cuatro patas sobre los nudillos. Éste es un dato que favorece el considerar la bipedestación como la forma de marcha habitual de estos homínidos. El *foramen magnum*, que es el agujero por el que sale la médula desde el cráneo y donde arranca la columna vertebral, ocupa una posición intermedia entre la de los antropomorfos y la del hombre, lo que indica que el cuello de Lucy estaba más inclinado hacia delante que el nuestro, pero era más vertical que el de los chimpancés, así que mantenía una postura más erguida que éstos. El rostro se proyectaba hacia delante con un pequeño hocico. Su capacidad craneal era algo mayor que la de un chimpancé, de unos quinientos centímetros cúbicos. Realmente era como un chimpancé que anduviera sobre las dos patas de forma permanente. Tenía una dentadura parecida a la de *Ardipithecus ramidus*, aunque los caninos eran menores y más incisiviformes. Los molares eran más anchos y su esmalte era más grueso, como si tuvieran que triturar más cantidad de comida y más dura.

Lucy era muy pequeña, de unos treinta kilogramos de peso, con piernas muy cortas y brazos largos, con un cociente húmero/fémur del ochenta y cinco por 100. La mayor longitud de los brazos con respecto a las piernas indica que usaba con más frecuencia las extremidades superiores que las inferiores; por ejemplo, en los movimientos por entre las ramas de los árboles. Este índice es superior al de los seres humanos (setenta y uno por 100), pero inferior al del chimpancé (cien por 100) y al del gorila (ciento dieciocho por 100); es decir, que Lucy poseía

unos brazos proporcionalmente más largos que los nuestros, pero más cortos que los de los monos. Las falanges de los dedos de manos y pies están curvadas, lo que indica una persistencia de la capacidad de trepar a los árboles. Las manos de Lucy son casi iguales a las nuestras: el dedo pulgar es proporcionalmente más corto y el resto de la mano es algo más largo que en nuestra especie. Esto sugiere una plena capacidad de manipulación de pequeños objetos. Los australopitecinos, además de poder caminar como bípedos, aún trepaban a los árboles para alimentarse, escapar de los depredadores o dormir en nidos hechos con ramas. Una mutación muy ventajosa respecto a sus predecesores fue la que permitió que el dedo gordo del pie estuviera menos separado, más alineado con el resto de los dedos: esto les permitía correr a más velocidad. Si nos topáramos hoy día con Lucy paseando por el campo, nos sorprendería ver a una chimpancé andando bien erguida y braceando, como si se tratara de una niña que va disfrazada a una fiesta.

Lucy y los suyos

Todos los datos señalan que hace tres millones de años habitaban las zonas boscosas y las sabanas del este de África unos homínidos que presentaban el aspecto y el cerebro de un chimpancé de hoy, pero que caminaban sobre dos pies con soltura, aunque sus brazos largos sugieren que no despreciaban la vida arbórea.

Su alimentación era diferente a la de sus antecesores. Ya se ha dicho que los *Ardipithecus ramidus*, como los primates de hoy, habitaban en las densas selvas húmedas, se alimentaban picoteando, mediante bocados continuos, y por lo tanto la comida se ingería en pequeñas raciones a lo largo de todo el día. Pero los *Australopithecus afarensis* vivían en un paisaje muy di-

ferente al de sus predecesores: en vez de estirar el brazo perezosamente para agarrar el fruto maduro de la rama más cercana, tenían que bajar al suelo para rascar y escarbar fatigosamente la dura tierra hasta encontrar raíces, y estaban obligados a desplazarse por la sabana ardiente y peligrosa hasta llegar a un nuevo grupo de árboles, una vez agotadas las reservas del bosquecillo de rivera en el que hubieran pasado los últimos días.

Las características de las muelas de *Australopithecus afarensis* indican que su alimentación estaba compuesta en gran parte por vegetales, y que en esta dieta los productos duros y abrasivos iban cobrando importancia. Su alimentación, además de algunos frutos tiernos, también estaba compuesta por vegetales más duros y menos nutritivos, tales como hojas, frutos secos, tallos fibrosos, órganos subterráneos de almacenamiento (bulbos, tubérculos, rizomas). Las partículas minerales que se le introducirían en la boca junto con esos vegetales subterráneos (se supone que no lavaban la comida) harían rechinar los dientes y contribuirían a su desgaste.

Con el nivel de actividad física que deberían de tener los *Australopithecus afarensis* y el escaso valor nutritivo de tal alimentación, se requería ingerir grandes cantidades de esos alimentos poco nutritivos para conseguir las calorías necesarias para sobrevivir. Este trabajo de masticación implicaba un gran desgaste para las coronas dentales, lo que ha quedado reflejado en las muelas fósiles.

También comían huevos, reptiles, termitas e insectos diversos. Nosotros hemos heredado esta capacidad insectívora de nuestros antepasados, como lo demuestra la gran actividad del enzima trehalasa que poseemos en nuestro intestino; la función exclusiva de este enzima es la de digerir el azúcar trehalosa, que sólo abunda en los caparazones de los insectos.

Australopithecus afarensis era un oportunista, como cual-

quier primate. Su supervivencia dependía de la posibilidad de mantener una provisión continua de comida nutritiva, y para ello explotaba toda fuente posible de alimentos. Nuestros antepasados parece que prosperaron en condiciones difíciles, puesto que se vieron obligados a desarrollar con eficacia este comportamiento oportunista.

Es posible que Lucy viviera junto con un pequeño grupo de individuos que andaban sobre dos patas la mayor parte del tiempo, que gesticulaban, gritaban y gruñían en la seguridad de un bosquecillo fluvial, mientras jugaban o buscaban insectos y desenterraban raíces. En ese hábitat de bosques claros, en donde los alimentos, además de ser más duros, tendían a estar más diseminados, se requería algún grado de organización elemental para sobrevivir. Por ejemplo, la bipedestación permitió la posibilidad de acarrear alimentos con las manos y los brazos. Esto significó un cambio muy importante para la supervivencia: antes, cada individuo comía para sí mismo y tenía que hacerlo en el mismo sitio donde encontraba el alimento; desde que se produjo el cambio podía transportar comida con facilidad y comérsela en un lugar seguro o incluso compartirla con otros compañeros o con su hembra y sus crías. Además, ya no necesitaba bolsas en las mejillas (abazones) para transportar la comida hasta un lugar seguro donde comer con tranquilidad. Se inició así una cierta colaboración entre individuos, un amago de solidaridad. Estos comportamientos estrechaban los lazos entre los miembros del grupo, que antes se reducían a ritos simples, como la desparasitación mutua.

Desconocían el uso del fuego, del que huían como cualquier otro animal. Por las noches se protegían de los depredadores en nidos construidos en las ramas de los árboles y en cuevas poco profundas, que utilizaban ocasionalmente. Estaban constantemente amenazados por la gran cantidad de fieras poderosas que vagaban por las sabanas y los bosques. Y suponemos que

debían de emplear instrumentos, tales como piedras, palos y huesos de animales, para defenderse de los depredadores. Eran criaturas de pequeño tamaño, que ya no vivían en la protección permanente de un bosque espeso, que ni siquiera poseían colmillos ni garras con los que defenderse. Es evidente que estos homínidos no pudieron sobrevivir sin utilizar algún tipo de arma. Usaban los instrumentos tal y como los encontraban en el momento de requerir su uso. Puede ser que el gran logro de los australopitecinos, sobre sus predecesores, fuese el de tener suficiente volumen cerebral como para, en vez de abandonar los instrumentos tras utilizarlos, como hacen hoy los chimpancés, los conservaran para otra ocasión. En el desarrollo de esta facultad tuvo mucho que ver el disponer de las manos libres.

Los australopitecinos y otros homínidos

Después de que Lucy se paseara por África surgieron numerosas especies de homínidos, algunas de las cuales prosperaron durante unos cientos de miles de años y luego desaparecieron. Por ejemplo, entre los australopitecinos el registro fósil nos muestra que al menos vivieron cuatro especies: *Australopithecus afarensis* y *Australopithecus anamensis*, ambos en la zona del este de África; *Australopithecus africanus*, que habitaba más al sur, cerca de Sudáfrica, y *Australopithecus bahrelghazali*, cuyos fósiles se han descubierto en la región del Chad. En la zona de la cuenca del río Omo se encontró el primer representante del género Homo: *Homo habilis*, un antecesor mucho más próximo a nosotros que cualquiera de los del resto del grupo, con una capacidad craneal de entre seiscientos y ochocientos centímetros cúbicos y que ya era capaz de fabricar utensilios de piedra, aunque muy toscos.

Es conveniente tener en cuenta que la aparición de una nue-

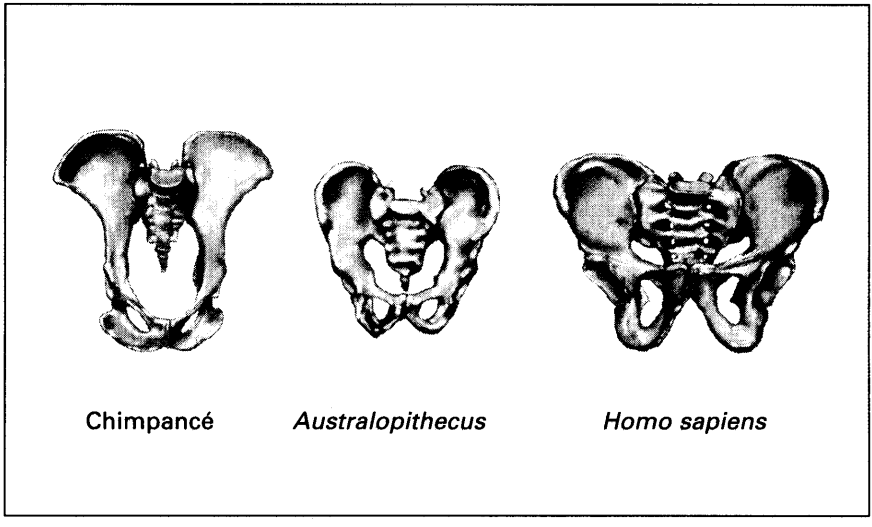

FIGURA 3.1. Comparación entre las pelvis de un chimpancé actual, de un australopitecino y de un ser humano.

La pelvis de los animales hembras, además de permitir la locomoción y de soportar una parte importante del peso del cuerpo, tiene que permitir el parto. La pelvis alargada característica de los monos es una pelvis llamada «en tensión» que está al servicio de la locomoción cuadrúpeda sobre los pies y sobre los nudillos de las manos. Al iniciarse la bipedestación la pelvis se modificó para soportar todo el peso del cuerpo y repartirlo entre los dos elementos de sustentación que son las piernas. La pelvis de los australopitecinos era más achaparrada, es lo que se llama una pelvis «en presión». Esta disposición de la pelvis culminó en la pelvis humana.

va especie no tiene por qué coincidir necesariamente con la extinción de la anterior. Realmente, muchas de estas especies llegaron a convivir durante miles de años. Se podían dar dos situaciones: que las especies diferentes ocuparan distintos nichos ecológicos, y entonces se toleraban y no surgían conflictos, o que ocuparan el mismo nicho ecológico, y entonces ambas competían entre sí allí donde convivían y la especie menos favorecida acababa por desaparecer.

La aparición de todas esas especies de homínidos y de algunas más, que debieron de existir pero de las que no tenemos conocimiento, representan diferentes tanteos de nuestra evolución, como si hicieran pruebas para encontrar el modelo más idóneo. En la mayor parte de los casos, estas especies acabaron extinguiéndose porque las mutaciones acumuladas no fueron las adecuadas para sobrevivir en un hábitat cambiante y cada vez más hostil; en cierta medida, son auténticos fondos de saco, ensayos fallidos de la evolución.

BIBLIOGRAFÍA

Arsuaga, J. L. e I. Martínez, *La especie elegida*, Temas de Hoy, Madrid, 1998.

—, *Atapuerca y la evolución humana*, Fundació Caixa Catalunya, Barcelona, 2004.

Ayala, F., *Origen y evolución del hombre*, Alianza, Madrid, 1991.

Coppens, Y., *La rodilla de Lucy*, Tusquets, Barcelona, 2005.

Leaky, R. E., *La formación de la humanidad*, Óptima, Barcelona, 1993.

Lewin, R., y R. A. Foley, *Principles of Human Evolution*, Blackwell Science, Oxford, 2004.

Rebeyrol, Y., *Lucy y los suyos. Crónicas prehistóricas*, Edaf, Madrid, 1989.

En estas tres páginas se puede encontrar información sobre *Ardipithecus ramidus* y sobre *Orrorin tugenensis*.

http://www.archaeologyinfo.com/ardipithecusramidus.htm

http://www.modernhumanorigins.com/ramidus.html

http://www.modernhumanorigins.com/tugenensis.html

En las páginas siguientes se puede encontrar información sobre Lucy en particular y sobre los australopitecinos en general:

http://www.modernhumanorigins.com/afarensis.html

http://www.asu.edu/clas/iho/lucy.html

4

La elección de compañero

La genética del comportamiento sexual

Ya se ha reiterado que la reproducción, la supervivencia y la nutrición son las tres grandes fuerzas que mueven a los seres vivos. Los genes, a través de sus productos, nos obligan a nutrir nuestro cuerpo y a cuidar de él (el envase desechable que los alberga) y a reproducirnos para multiplicar y dispersar el mayor número posible de copias de esos genes. Si fracasamos en alguna de esas dos importantes tareas, nuestros genes se irán con nosotros a la tumba. Ningún genotipo que se precie admite tal fracaso, por eso la selección natural ha dotado nuestro organismo con el mecanismo que nos otorga la mayor eficacia posible en la reproducción: la sexualidad. Por lo tanto, el motor que permite que los genes hagan copias y las distribuyan en numerosos portadores es la sexualidad, y por eso es lo que la convierte en la fuerza más poderosa que mueve a los seres vivos. Lord Chesterton describía a su hijo el sexo en los siguientes términos «El placer es pasajero; la postura, ridícula, y el dispendio, reprobable». A pesar del escepticismo irónico del escritor, nada en la vida es más importante, nada es más atrac-

tivo y nada es fuente de mayores preocupaciones y conflictos que la sexualidad.

La reproducción sexual requiere de dos: un macho y una hembra. Los genes, por la cuenta que les trae, se preocupan de que cada animal consiga encontrar al compañero más adecuado con el que aparearse. La información necesaria para lograrlo también está contenida en los genes; no es algo que precise aprenderse. Hoy está bien demostrado que el comportamiento sexual, como otros patrones de comportamiento, está determinado genéticamente. Uno de los ejemplos más fascinantes de las raíces genéticas del comportamiento sexual nos lo proporciona el cuco. Estas aves ponen siempre sus huevos en los nidos de pájaros de otras especies. El pollo de cuco nace en nido ajeno y sólo conoce a sus padres adoptivos, que lo cuidan y alimentan y jamás entra en contacto con sus progenitores verdaderos. Como los cucos no se miran en un espejo, cuando el cuco intruso abandona el nido, no puede saber cómo es el aspecto, el color y el tamaño de los de su especie, a los que nunca ha visto; pero llegado el momento, sus genes le señalan sin dudar quiénes son aquellos con los que tiene que formar pareja y cómo ha de hacer para transmitir sus genes de forma eficaz. Y esos mismos genes son los que indican a la hembra del cuco que tiene que poner los huevos en un nido ajeno, acto extravagante para el que nadie la ha instruido.

Mecanismos cerebrales de la atracción sexual

Todos los animales disponen de sistemas que orientan específicamente sus conductas sexuales hacia aquellos individuos con los que deben aparearse, para garantizar que cumplen esa primera obligación biológica que es la reproducción.

Las conductas biológicas emanan del sistema nervioso, y sus

patrones primordiales están impresos en determinadas áreas cerebrales y en la función de determinados neurotransmisores, que son las moléculas que conectan las neuronas entre sí. Las conductas de orientación sexual, que constituyen el conjunto de comportamientos característicos de cada sexo en relación con la reproducción, incluyen un catálogo de acciones, algunas de gran complejidad como: la atracción de un sexo por el otro, las señales y las actitudes de acercamiento, la estimulación sexual, las competencias entre los machos, el apareamiento y el cuidado de las crías.

En diversos animales se han descrito núcleos o áreas específicas cerebrales cuya actividad está relacionada con la orientación sexual. En los seres humanos se ha descrito una zona en el área preóptica del hipotálamo anterior, a la que se le ha dado el nombre de núcleo dimórfico sexual. Este conjunto de células nerviosas es de mayor tamaño y contiene más células en los hombres que en las mujeres; también sucede lo mismo en otras especies. El tamaño de este núcleo cerebral disminuye paulatinamente con la edad, pero en cada tramo su estructura es siempre mayor en los hombres que en las mujeres.

Otros núcleos cerebrales tradicionalmente asociados a la génesis de la orientación sexual son cuatro núcleos localizados junto a los núcleos supraópticos del hipotálamo; el núcleo denominado INAH 3 (núcleo intersticial del hipotálamo anterior) es tres veces más grande en el cerebro masculino que en el femenino. El investigador Simon Le Vay realizó en la década de 1990 interesantes estudios sobre estos núcleos en cerebros humanos heterosexuales y homosexuales. Quería verificar si las diferencias de tamaño de estos centros nerviosos estaban relacionadas realmente con la orientación sexual o sólo con el sexo de cada individuo. Si estuvieran relacionados con la orientación sexual, los INAH 3 deberían de ser mayores en individuos sexualmente orientados hacia las mujeres (hombres heterose-

xuales) y más pequeños en individuos sexualmente orientados hacia los hombres (mujeres heterosexuales y hombres homosexuales). Dispuso del tejido cerebral obtenido en cuarenta y una autopsias: diecinueve de hombres homosexuales muertos a consecuencia del SIDA; siete de hombres supuestamente heterosexuales, de los cuales seis murieron también a consecuencia del SIDA (trasfusiones y otras causas), y seis mujeres supuestamente heterosexuales. Le Vay encontró que en los hombres homosexuales el núcleo INAH 3 tenía un tamaño menor que en los hombres heterosexuales, pero era de tamaño idéntico al encontrado en los cerebros de las mujeres. A estas áreas cerebrales que determinaban la orientación sexual hacia el sexo masculino, Le Vay las denominó «el cerebro rosa».

Estos hallazgos de áreas cerebrales específicas que controlan la orientación sexual coinciden con lo encontrado en otros primates. Las lesiones experimentales del hipotálamo anterior en monos machos reducen los patrones de atracción sexual de la hembra, evaluado mediante el recuento de la tasa de intentos de montar a las hembras, mientras que deja inalteradas otras actividades sexuales como la masturbación.

En 1995, J. N. Zhou y su equipo realizaron una aportación extraordinaria a este asunto, estudiando el cerebro de seis transexuales de hombre a mujer, es decir, aquellas personas que nacen somáticamente con un cuerpo de hombre, pero cuyos cerebros piensan y sienten como mujeres. Este estudio planteaba una situación diferente a los estudios de Le Vay sobre los homosexuales. Los hombres y mujeres homosexuales se suelen considerar a ellos mismos como hombres y mujeres respectivamente, y se sienten felices de ello, pero su orientación sexual se dirige hacia individuos de su mismo sexo. Mientras que los transexuales padecen una discrepancia entre el sexo que expresa su cerebro y el que presenta su cuerpo: suelen ser heterosexuales respecto al sexo que les indica su cerebro.

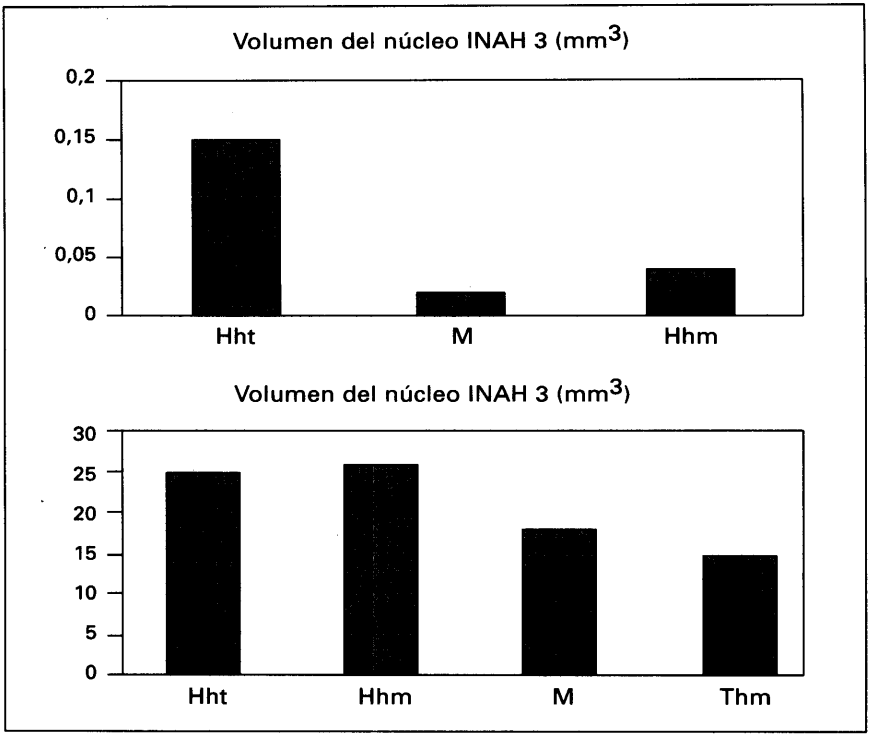

FIGURA 4.1. Diferencias en el volumen de los centros cerebrales relacionados con la orientación sexual.

El núcleo intersticial del hipotálamo anterior (INAH-3), que determina la atracción sexual según su tamaño, es mucho mayor en los hombres heterosexuales (Hht) que en los hombres homosexuales (Hhm) o las mujeres (M). (Datos basados en LeVay, 1991.) Esto implica que un tamaño grande determinaría la atracción por la mujer y un tamaño pequeño, la atracción por el hombre, con independencia del sexo somático del portador. El núcleo basal de la estría terminal, otra de las agrupaciones neuronales del cerebro humano relacionada esta vez con la percepción del propio sexo, muestra que su volumen es mayor y de idéntica magnitud en hombres heterosexuales (Hht) y hombres homosexuales (Hhm); es decir, aquellos individuos que reconocen y aceptan su condición de hombres. Pero su tamaño es significativamente menor en mujeres (M) y en transexuales de hombre a mujer (Thm), esto es, en aquellos individuos que se sienten somáticamente mujeres. (Datos tomados de Zhou, 1995.)

Se eligió para el estudio un núcleo llamado BST (núcleo basal de la estría terminal). Los resultados mostraron que el volumen del BST en hombres supuestamente heterosexuales (2,49 mm^3) era un cuarenta por 100 mayor que el volumen encontrado en mujeres heterosexuales (1,73 mm^3). El BST era un cincuenta y dos por 100 más pequeño (1,30 mm^3) en transexuales hombre-mujer, es decir, los que se sienten mujeres encerradas en un cuerpo masculino, que en hombres heterosexuales, y del mismo tamaño que el medido en mujeres heterosexuales.

Vemos que los genes garantizan la búsqueda de la pareja correspondiente a cada especie animal al desarrollar centros nerviosos capaces de identificar a la pareja adecuada para lograr una eficaz reproducción. Para ello, los genes se valen de la interacción compleja de los factores genéticos y los hormonales. El cerebro es un mosaico de áreas y núcleos que pueden responder a diferentes estímulos, entre ellos al tipo y a los niveles de las hormonas sexuales en diferentes momentos durante las primeras fases del desarrollo, en especial en la fase embrionaria y en la niñez. Los niveles hormonales son distintos en el hombre y en la mujer desde las primeras semanas de desarrollo dentro del útero materno. En el feto masculino predomina la testosterona y otras hormonas sexuales masculinas; en el feto femenino predominan los estrógenos. Estas hormonas actúan sobre receptores específicos situados en las células nerviosas, y en consecuencia las neuronas se desarrollan a gran velocidad o más lentamente según el tipo y la concentración de las hormonas que lleguen hasta ellas. Así influencian el desarrollo y el crecimiento de determinadas áreas, sensibles a tales hormonas.

LAS RUTAS DEL *SEX APPEAL*

El cerebro, a pesar de su complejidad, funciona con patrones bastante sencillos: los mecanismos reflejos. Lo primordial en cualquier reflejo es la existencia de un estímulo; por ejemplo, la visión de alguien que está comiendo un jugoso limón. Este estímulo llega al cerebro a través de unas vías, que en este caso es la vista. La información es catalogada y enviada al centro correspondiente, en esta ocasión los núcleos hipotalámicos que controlan la secreción salival. Y el centro nervioso desencadena una respuesta, concretamente el aumento de la producción de saliva. Un mecanismo parecido desencadena una emisión profusa de lágrimas cuando a la heroína de la telenovela, ciega de nacimiento, le quitan los apósitos tras la delicada operación en una prestigiosa clínica de Suiza y puede por primera vez contemplar el rostro de su amado. Todo es cuestión de los núcleos cerebrales, de las neuronas, de los neurotransmisores adecuados y de una red de nervios que transportan a todos los rincones de nuestro organismo las órdenes que elabora el cerebro.

Como ya hemos visto, el cerebro de los mamíferos contiene áreas neuronales especializadas en desencadenar el proceso complejo que denominamos orientación sexual. Esta fuerza instintiva hace ver, en la mayor parte de los casos, como sexualmente deseables a los miembros del otro sexo. En principio el funcionamiento es tan elemental como el del limón. Cuando se dan las condiciones adecuadas, el conjunto de estímulos visuales, sonoros y olorosos que emite un individuo llega a las áreas hipotalámicas de otro y pone en marcha la secreción de varios neurotransmisores, que desencadenan una serie de respuestas: aceleración del ritmo cardiaco, aumento de las secreciones genitales o dilatación de las pupilas, entre otras. Pero tras esta reacción primaria, que normalmente se reprime,

comienza un complicado y laborioso proceso de análisis y selección, que en su mayor parte opera de forma inconsciente. Estas preferencias son también adaptaciones cerebrales representadas por complejos circuitos neuronales y elaboradas a través de la interacción de muchos genes y determinadas condiciones ambientales. Todo ello predispone a un individuo concreto para emparejarse con otro individuo de diferente sexo que presente ciertas características específicas y que le atraiga de una manera especial.

Los mecanismos y estímulos para buscar pareja han evolucionado como lo ha hecho cualquier otra función, y son diversos en el reino animal. Probablemente lo más habitual en la elección de pareja son aquellos indicadores que ponen de manifiesto dos características fundamentales en el potencial del compañero: la vitalidad y la fertilidad. La vitalidad garantiza la mayor probabilidad de supervivencia, y la fertilidad una mayor probabilidad de reproducción con éxito. Es indudable que los genes fuerzan a todos los animales a que consideren sexualmente atractivos aquellos estímulos que son indicadores de un mayor potencial reproductor.

Estos indicadores pueden presentarse bajo diversas características físicas o conductuales. Por ejemplo el tono muscular, la tersura y la elasticidad de la piel son los mejores indicadores de la edad; el estado nutricional se refleja en las redondeces de los depósitos grasos; el tamaño y la fuerza se evidencian en los relieves musculares y en el tamaño de los huesos; la resistencia a las enfermedades se evidencia en la simetría y en la buena conformación del cuerpo. Tales indicadores podrían revelar tanto rasgos genéticos heredables, que podrían transmitirse a su cría potencial (selección por genes buenos), como las posibilidades de que el compañero sobreviva el tiempo suficiente para proveer de alimentos, cuidados y protección a los recién nacidos (selección por padres buenos).

MORFOLOGÍA HUMANA Y ELECCIÓN DE PAREJA

La evolución ha proporcionado a la especie humana ciertos rasgos distintivos con respecto al resto de primates, que tienen una gran trascendencia en estimular las áreas cerebrales que controlan el deseo sexual y por tanto las relaciones sexuales. El ser humano tiene menos vello o un vello sumamente fino, lo que deja traslucir los cambios de coloración de la piel y acrecienta la sensibilidad al tacto. El macho humano es el primate con el pene más largo, y la hembra humana es la primate que posee los senos más voluminosos. El ser humano, en relación con el resto de primates, tiene los ojos más grandes, la nariz más larga, unos lóbulos auriculares mayores, los labios más gruesos, los dientes más pequeños y la cara más expresiva; la gama de expresiones del rostro y la movilidad y sensibilidad de los labios son armas poderosas en la conducta sexual. La estructura facial también tiene su importancia: las mujeres con cara más aniñada (neoténicas), es decir unos ojos grandes, las narices pequeñas y los labios gruesos, resultan más atractivas, sugieren niveles elevados de estrógenos. Por el contrario, el mayor atractivo del macho de la especie humana reside en aquellos rasgos más dependientes de los niveles de hormonas sexuales masculinas, como la barbilla y los pómulos prominentes, las mandíbulas fuertes y las narices largas.

¿CÓMO SE AVERIGUA LA CALIDAD GENÉTICA DE UN MACHO?

La selección natural ha favorecido a aquellas hembras capaces de aparearse y retener el esperma procedente de los machos con marcadores fenotípicos de buenos genes. Una de las características que señala una calidad genética elevada es el no haber

padecido enfermedades graves durante la infancia y la juventud. Cada batalla contra los gérmenes, cada enfermedad padecida, cada golpe, cada herida dejan su huella. Pero ¿cuáles son estas marcas que identifican a los machos de buena calidad genética, sanos y con poca tendencia a enfermar o a golpearse a cada momento?

El grado de simetría es uno de los indicadores de la calidad genética. La atracción por la simetría y el rechazo de lo que es asimétrico es algo común en la mayor parte de las especies animales. Posiblemente el factor más importante que determina la atracción sexual es la llamada asimetría fluctuante, es decir, la que puede presentarse en aquellas características anatómicas bilaterales como las manos, las orejas, los ojos, los cuernos, las alas, las aletas, etc. Estas estructuras deberían ser perfectamente simétricas. Cualquier perturbación surgida durante el desarrollo del individuo, queda registrada en forma de asimetría de alguna parte de su estructura corporal.

Estudios realizados hace pocos años muestran que los hombres que poseen una baja asimetría, es decir, que son muy simétricos en todos sus rasgos, son considerados más atractivos, tienden a tener un mayor número de parejas, consiguen establecer relaciones sexuales tras periodos de cortejo más breves y pierden la virginidad a edades más tempranas. R. Thomhill demostró en 1995 que la proporción de cópulas que desencadenaban orgasmos en las mujeres estaba inversamente relacionada con el nivel de asimetría fluctuante de sus compañeros sexuales. Los hombres más simétricos estimulan más orgasmos en sus compañeras. Esto tiene un gran valor adaptativo ya que, como veremos más adelante, las contracciones vaginales que acompañan al orgasmo permiten una aspiración más eficaz del esperma.

El atractivo de las hembras gorditas

Todos los mamíferos poseen la capacidad de acumular algo de grasa en su organismo, pero este proceso se ve incrementado en algunas especies en las que una abundante provisión de reserva de combustible es esencial para su supervivencia. Por ejemplo, el oso debe acumular gran cantidad de grasa para sobrevivir al largo sueño de la hibernación, los mamíferos que habitan las frías aguas de las zonas polares, como las ballenas, las focas o las nutrias, necesitan acumular grandes cantidades de grasa debajo de la piel para que les sirva a la vez de aislante térmico y de reserva energética.

El ser humano es uno de los mamíferos más grasos; su masa grasa es tan abundante que nos asemeja más a un delfín que a un primate. Además, los recién nacidos humanos contienen una elevada proporción de tejido adiposo: un catorce por 100 de su peso es grasa. En comparación, las crías del resto de los primates nacen magras (apenas un tres por 100 de su peso es grasa). Esto sugiere que el ser humano pertenece al grupo de animales que precisan acumular abundantes reservas energéticas. Y esta característica la debimos de adquirir evolutivamente la primera vez que nuestros antecesores se enfrentaron a periodos prolongados de escasez de alimentos, cuando, para la supervivencia en esas condiciones de precariedad energética, la selección natural nos dotó de la capacidad de cargar con una abundante reserva de combustible. Apareció sobre el planeta el «mono obeso».

Si un ingeniero tuviese la responsabilidad de diseñar un depósito de gran cantidad de grasa en un ser bípedo como el ser humano, desde luego que descartaría poner la grasa en la espalda, ya que lo desequilibraría. Tampoco en el cuello o en los brazos, porque limitaría la manipulación. Mucho menos en las

piernas, porque dificultaría el caminar y el correr. Este ingeniero pensaría en poner la grasa debajo de la piel, es decir, optaría por el modelo foca, por ser la forma más eficaz y menos molesta de acumular grasa. Y, en efecto, el ser humano almacena la mayor cantidad de su grasa bajo la piel, lo que constituye el depósito graso subcutáneo.

La hembra de la especie humana contiene una mayor proporción de grasa que el macho. Esto tiene que ver con los mayores requerimientos energéticos que exige en ellas la reproducción. En condiciones de nuestros antecesores homínidos hay que considerar nueve meses de embarazo más tres años de lactancia; ello supone un gasto energético considerable. Es frecuente que el macho acumule su grasa en la barriga como la forma más adecuada para llevar un saco cargado de grasa, en una posición fácil de transportar a lo largo de sus prolongados vagabundeos en busca de alimento. Las hembras acumulan su grasa preferentemente como grasa subcutánea en las nalgas y en la parte alta de los muslos. La acumulación de un exceso de grasa en la barriga se denomina obesidad androide, y es más frecuente en el hombre; el exceso de grasa en las caderas y muslos es más frecuente en la mujer, y se denomina obesidad ginoide.

La acumulación de grasa en las nalgas de la hembra humana ha evolucionado a través de un mecanismo de selección sexual. Estas zonas del organismo almacenan gran cantidad de grasa, así que podían funcionar como indicadores del estado nutricional de la hembra y, por tanto, de su fertilidad. Los machos preferirían hembras que tuvieran más grasa en la cadera y en la parte superior de las piernas, y muy poca grasa en la cintura y en la parte superior del cuerpo. Este patrón de distribución de grasa se diagnostica en la consulta médica mediante el llamado «índice de cintura cadera», que resulta de dividir el perímetro mínimo de la cintura entre el perímetro

máximo de la cadera. Nuestros antecesores machos elegirían como pareja a aquellas hembras que tuvieran una proporción cintura-cadera menor de 0,8. Este dato les informaba de que la elegida poseía anchas caderas, buen estado nutricional y que no estaba ya preñada.

Los atractivos sexuales delanteros

La bipedestación, al modificar la estructura de la cadera, provocó efectos colaterales; entre otros, desplazó la abertura de la vagina hacia delante. En las hembras de los primates, como en el resto de las especies animales, la entrada a la vagina se sitúa justo debajo del orificio anal, que a su vez se encuentra inmediatamente debajo del rabo. A causa de esta disposición anatómica, en la mayor parte de los animales la cópula se realiza por detrás, incluidos los restantes primates. La cópula por detrás exigía desplegar atractivos traseros para atraer al macho, como los escandalosos colores y tumefacciones que adornan la vulva de las monas en celo.

El desplazamiento de la vagina hacia delante favoreció la cópula delantera, cara a cara. Es posible que con los australopitecinos, nuestros primeros ancestros de los que tenemos certeza fósil de que caminaban sobre dos patas, se terminara la moda de los coloreados traseros, de las vulvas hinchadas y escandalosas. La evolución fomentó el desarrollo de zonas de especial atractivo sexual y de mayor sensibilidad en la parte delantera del cuerpo; en definitiva, la parte que se frotaba con el compañero sexual durante el coito. En nuestra especie, actualmente, la mayor parte de las señales sexuales y las principales zonas erógenas se encuentran en la parte anterior del cuerpo: los labios, el pecho, el vientre, el área genital y la cara anterior de los muslos.

La evolución se encargó, además, de encontrar alternativas a las vulvas hinchadas de las hembras de primates; por ejemplo los senos. Tradicionalmente se ha considerado que el desarrollo de los senos femeninos está ligado a la maternidad, para permitir una mejor lactancia, pero los estudios recientes muestran que esa idea no se sostiene. Las hembras de los primates pueden proporcionar lactancias copiosas a sus crías y, sin embargo, apenas tienen pechos evidentes. Hay que tener en cuenta que del volumen total de una mama, una pequeña fracción corresponde al tejido glandular, es decir, a las células y conductos responsables de la producción y la eyección de la leche después del parto; el resto, la mayor parte del volumen de la mama, es grasa. De esta forma, la evolución sustituyó unas marcas sexuales por otras; propició el desarrollo de unos senos prominentes y con una morfología característica, que forma parte del equipamiento de marcas sexuales, de atracción sexual y de identificación a distancia de su condición de hembra.

La irresistible espinilla

Casi todas las especies animales, una vez que han seleccionado la pareja más adecuada, inician una serie de rituales, algunos muy complicados e incluso extravagantes, que permiten una aproximación entre macho y hembra y, si las cosas van bien para ambos, llegar a la cópula y a unir los gametos y mezclar su material genético. Se cierra de esta forma el ciclo que hemos iniciado al comienzo de este capítulo.

Es evidente que las formas de cortejo de nuestros ancestros tendrían que parecerse a las de los primates, a los que pertenecemos. No es ocasión este libro para extenderse en consideraciones etológicas generales. Sólo estamos resaltando la importancia que las adaptaciones de la hembra de nuestra especie tuvieron en el

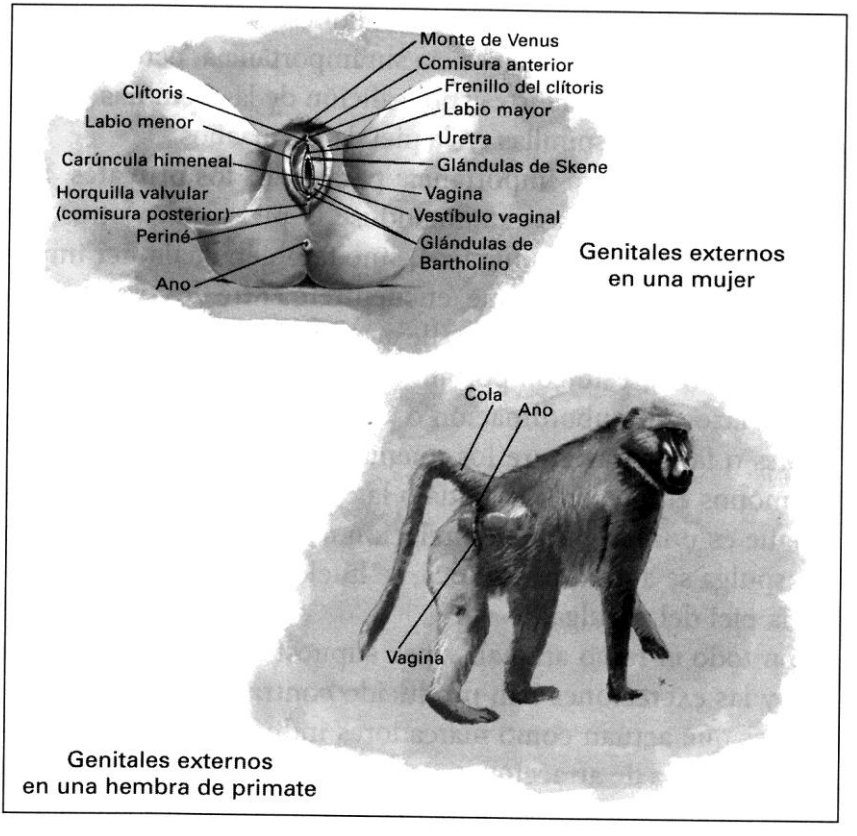

FIGURA 4.2. Comparación de la disposición de la abertura vaginal en la mujer y en una hembra de primate.

En las hembras de los primates, como en el resto de animales cuadrúpedos, la vagina se abre hacia atrás, justo debajo del orificio anal y debajo de la cola. La cópula normalmente se realiza penetrando el macho a la hembra por detrás.

En la mujer y en las hembras de los homínidos a partir de *Australopithecus afarensis*, la bipedestación modificó la anatomía de la cadera y desplazó los órganos genitales internos de la mujer: útero y vagina. Una de las consecuencias fue el desplazamiento de la abertura de la vagina hacia delante, con una disposición claramente ventral de la vulva. Esto permitió la cópula delantera y algo único en toda la zoología, como es el que dos seres puedan besarse mientras intercambian sus genes.

avance y final de nuestra evolución. Por eso sólo vamos a considerar una cuestión en apariencia sin importancia, pero que evolutivamente la tuvo: la irresistible afición de las hembras humanas por reventar espinillas en la piel de los machos.

La piel es de gran importancia para todos los primates. Los monos se pasan horas examinándose la piel unos a otros; no sólo buscan pulgas (espulgueo), sino también cualquier impureza, grano o parásito que encuentren entre los pelos para aplastarlos entre sus dedos o llevárselos a la boca. Más que la limpieza en sí, este comportamiento tiene la función de establecer lazos, de subordinación o atracción, y vinculaciones sexuales o familiares entre los miembros de una manada. Entre los monos el ofrecer la espalda o la cabeza para que otro le espulgue es una propuesta de relación o sometimiento. Cuando se espulga se aproxima, se toca, se huele, se conoce al milímetro la piel del espulgado.

En todo el reino animal, y por supuesto en los primates, la piel y las excreciones han producido contrastes de olores y de colores que actúan como marcadores individuales y como potentes medios de atracción sexual. Nuestros antecesores homínidos olían a machos o a hembras, y las crías olían a bebés. Las feromonas embriagaban sus circuitos cerebrales y actuaban sobre los patrones de conducta. Cada sexo tenía sus olores y sus colores diferenciados, cada miembro de una familia tenía sus rugosidades dérmicas, sus características de identificación. La importancia de estos atrayentes sexuales en nuestra propia evolución se pone de manifiesto al observar cómo se distribuye el vello en nuestro cuerpo. Las hembras humanas han perdido casi todo el vello en el cuerpo y sólo permanece abundante en tres localizaciones: en la cabeza, en las axilas y en torno a los genitales. El vello axilar y genital, que además está bajo el control de las hormonas sexuales, tendría como misión retener entre sus bucles las secreciones que otorgaban a cada indivi-

duo, antes de la proliferación de los champús y los desodorantes, su aroma personal, su poderoso atrayente sexual. Por cierto, hay una firma de cosmética que incorpora a sus perfumes feromonas obtenidas de extractos de sudor humano. Este elixir se recolecta en voluntarios, mediante unas ingeniosas cazoletitas que cuelgan de sus axilas mientras hacen esfuerzos físicos o trabajan en un taller.

Entre los primates, las señales dérmicas deben aparecer en las zonas visibles de la superficie corporal, sobre todo a partir del comienzo de la maduración sexual, y son más potentes en los machos que en las hembras. Amado y amada, madre y cría, subalterno y jerarca, todos los monos sea cual sea su condición y su relación se dedican a la tarea continua de explorar cuidadosamente la piel de los otros individuos y obtienen con ello un intenso placer.

Es posible que a lo largo de la evolución de la especie humana las modificaciones fisiológicas sufridas, en especial la reducción del vello, ocasionaran la aparición de una nueva señal dérmica de atracción sexual: el acné. El acné reúne todas las condiciones para ser el sustituto de las pulgas de nuestros antepasados: se da más en zonas visibles, es más frecuente en los hombres, y aumenta en periodos en los que es importante atraer y fijar a la pareja, como en la adolescencia y en el pico ovulatorio menstrual (máxima fertilidad). Un macho o una hembra ya emparejados y de una cierta edad, aunque tengan mayores niveles hormonales y mayor cantidad de grasa corporal, no tienen acné.

El acné, por lo tanto, como señalan Martínez y Clavera, no es un desarreglo sino un dispositivo residual de nuestro pasado evolutivo que permite que determinadas glándulas sebáceas de la piel se taponen y se colonicen por determinadas bacterias hasta dar el típico comedón que resalta como un clavo negro en la piel. El recuerdo de nuestro pasado persiste en el

ritual de quitarse espinillas y la enigmática e irresistible afición de algunas mujeres por aplastarles granitos y extraer comedones de sus hermanos y de sus parejas. Desde este punto de vista, el acné que tanto preocupa a muchos adolescentes, más que una enfermedad, es un residuo etológico de nuestro pasado evolutivo.

¿QUIÉN ELIGE A QUIÉN?

La elección de una pareja opera por el mecanismo básico de rechazo de algunos individuos y la aceptación de otros. Pero existen notables diferencias entre las estrategias de apareamiento de los machos y las hembras. Nadie es capaz de imaginar a una joven que entra en un bar lleno de hombres y empieza a mirarlos descaradamente a la cara o a su entrepierna, se acerca a la barra, pide la consumición y le lanza insinuaciones al que tiene al lado o directamente le agarra el trasero. ¿Se imaginan a dos ciervas dándose de patadas para conseguir que un ciervo las monte, mientras el macho las contempla indolente, casi sin hacerles ni caso? Es evidente que algo chirría en las escenas que acabamos de imaginar. Los patrones de comportamiento sexual son diferentes en los machos y en las hembras de todos los animales y ello tiene una fuerte justificación evolutiva.

Los mecanismos que intervienen en la reproducción están estrechamente relacionados con el éxito reproductor y esto es, precisamente, el fundamento sobre el que se asienta la selección natural. Considerando los homínidos que nos precedieron, aunque ambos progenitores transmitían cada uno la mitad de sus genes a sus descendientes, no invertían la misma cantidad de energía en el proceso. En casi todas las especies quien más arriesga en la operación reproductora es la hembra.

El macho invierte muy poca energía en legar sus genes a la posteridad: unas horas o días para el cortejo, unos pocos minutos para la cópula y una cucharada de esperma, y poco más. Por esta razón el macho plantea su estrategia reproductiva apareándose con el mayor número posible de hembras. La única preocupación de un macho para optimizar su éxito reproductor es aparearse con una hembra apta y saludable, en edad reproductora, que sea fértil y que garantice la viabilidad de la cría. En muchas especies, al macho no le importa lo que ocurra con su descendencia, ya que sólo tiene que preocuparse de producir un suficiente número de crías que lleven sus genes, con la esperanza de que entre tantas, alguna sobreviva y llegue a reproducirse y así continuará dispersándose su material genético.

En los mamíferos, cada hembra sólo puede engendrar un número limitado de descendientes, muy reducido en comparación con el potencial reproductor del macho. En primer lugar una hembra de primate, como ocurriría en las hembras de homínidos, sólo fabrica un máximo de trescientos óvulos a lo largo de toda su vida fértil. Las hembras de los homínidos debían realizar una inversión parental de nueve meses de embarazo durante los cuales el descendiente pasaría de ser una mota microscópica a convertirse en una criatura de más de tres kilos. Luego le siguen tres años de lactancia y de acarreo de la cría, donde la hembra invierte constantemente una considerable cantidad de tiempo y de energía. Durante estos tres años las hembras de los homínidos no serían fértiles, por eso la productividad reproductiva máxima de una hembra de homínido sería de un hijo cada dos años. Por el contrario, un macho en sus primeros años de actividad sexual podría fecundar a una hembra diferente todos los días del año. En un par de años un homínido macho podría llegar a convertirse en padre de tantas crías como una hembra en toda su vida, y con mucho menor gasto energético.

El hecho de que la fertilización del óvulo tenga lugar en el interior de la hembra, y de que ésta haya de invertir mayor energía, la obliga a asumir la dirección de todo el proceso desde el comienzo. Si la estrategia del macho es la cantidad, la estrategia de la hembra es la calidad, por eso ejerce un control exhaustivo sobre a qué macho le permitirá fertilizar sus óvulos. Los machos tienen que verificar continuamente si una hembra es receptiva. La hembra tiene que elegir con cuidado y con calma entre todos los postulantes. Los genes de un macho sano y robusto pueden proporcionar ventajas de supervivencia a su descendencia y redundará en su propio beneficio reproductivo. Si la hembra consigue que los machos luchen por ella o exhiban habilidades o le proporcionen alimento, incrementará sus posibilidades de no equivocarse y de elegir al mejor compañero posible; los esfuerzos del cortejo del macho son una auténtica exhibición de la calidad de la mercancía genética que oferta.

Nuestros ancestros machos tenían que competir más intensamente para fertilizar óvulos que las hembras para adquirir el esperma. Los machos homínidos competían por cantidad de hembras, mientras que las hembras competían por calidad de machos. Los machos se ofertaban a través del cortejo, las hembras elegían. En casi todas las especies las hembras pueden resistir con eficacia los intentos de copulación con machos no deseados, y en muchas especies las hembras solicitan activamente el copular con el macho que desean. Todas estas circunstancias han conducido a que los hombres y las mujeres hayan evolucionado hacia estrategias de aproximación sexual diferentes.

En general, la elección mutua y la cooperación paternal mutua son necesarias para una eficaz reproducción entre los homínidos, como luego veremos. Hay que tener en cuenta que la reproducción no se detiene con la fecundación y el embarazo. Una parte importante en la duplicación y la dispersión de los

genes la constituyen los cuidados que dedican las madres y los padres a las crías en los cruciales primeros años de su desarrollo fuera del útero de la madre. Este periodo es más dependiente en unas especies que en otras. Como veremos más adelante, en los homínidos el cuidado de las crías adquirió una importancia mucho mayor a la de cualquier especie, incluidos los primates, por lo que la hembra desarrolló, a lo largo de la evolución, una especial sensibilidad para detectar y elegir a aquellos machos que pudieran ser más cooperativos en el cuidado de sus crías, proporcionándoles a ella y a sus crías los alimentos y la protección necesaria.

BIBLIOGRAFÍA

Campillo, J. E., «Biología del transgenerismo», en *Transexualidad: la búsqueda de una identidad*, Ediciones Díaz de Santos, Madrid, 2003.

Gribbin, J., y M. Gribbin, *La diferencia del uno por 100*, Ediciones Pirámide, Madrid, 1990.

Hamer, D. H., S. Hu, V. L. Magnuson, N. Hu y A. M. L. Pattatuci, «A linkage between DNA markers on the X chromosome and male sexual orientation», *Science*, 261, 1993, pp. 321- 327.

Judson, O., *Consultorio sexual para todas las especies*, Crítica, Barcelona, 2004.

LeVay, S., «A difference in hypothalamic structure between heterosexual and homosexual men», *Science*, 253, 1991, pp. 1.034-1.036.

Ridley, M., *Genoma. La autobiografía de una especie en 23 capítulos*, Taurus, Madrid, 2000.

Symons, D., *The Evolution of Human Sexuality*, Oxford University Press, Nueva York, 1981.

Zhou, J. N., M. A. Hofman, L. J. G. Gooren y D. F. Swaab, «A sex difference in the human brain and its relation to transexuality», *Nature*, 378, 1995, pp. 68- 70.

En Internet:

Delfilis Barceló, E., *La biología del «Sex-appeal»: elección de pareja en humanos*: *http://www.uv.es/metode/anuario2001/110_2001.html*

Martínez, J., y M. J. Clavera, *La estrategia instintiva del acné*: *www.elalmanaque.com/Medicina/sabiduria/art17.htm*

5

El deber y el placer

La cita a ciegas

El fin último de la elección de un compañero sexual adecuado es la cópula. Éste es un proceso complejo, lleno de riesgos y metabólicamente costoso, cuya única función es permitir la mezcla de los genes del macho y de la hembra que participan y la creación de un individuo, un nuevo portador de genes, con una composición genética única en el universo. Ya se ha considerado que en la reproducción sexual la mezcla de genes se logra mediante unas células especializadas que son los gametos y que albergan una copia simple del material genético del individuo del que proceden. Al juntarse sus dotaciones genéticas crean un nuevo individuo que contiene el juego completo de genes de ambos progenitores.

El gameto que contiene los genes de la hembra se llama óvulo. Su tamaño es muy grande (imaginen el óvulo que es el huevo de avestruz) porque contiene grandes reservas de energía. Este almacén de nutrientes sirve para costear el gasto metabólico del proceso de fecundación y alimentar el embrión durante las primeras horas de vida. El gameto que contiene los genes del macho

es el espermatozoide, una célula minúscula, compuesta por una cabeza que almacena el material genético, y una cola que se mueve para hacerlo progresar hacia su destino. Carece de reservas energéticas y por ello apenas puede sobrevivir unas horas tras abandonar los testículos donde ha sido fabricado. Cuando se produce el acto sexual el macho lanza millones de estos proyectiles de cabeza genética contra un solo óvulo. Para el gameto femenino el encuentro constituye una auténtica cita a ciegas, ya que sólo el azar determina cuál de aquellos espermatozoides le inyectará en su interior el material genético que transporta.

Son innumerables los mecanismos que utilizan los seres vivos para lograr que los gametos se fusionen. Hay sistemas sadomasoquistas sumamente peligrosos, al menos para el macho, como es el apareamiento de la mantis. Es tal la voracidad de la hembra que llega a comerse al macho en plena cópula; claro que tiene la precaución de comenzar por la cabeza. Hay sistemas despreocupados, como el de los salmones. Las hembras sueltan los óvulos en medio del agua y los machos eyaculan también en plena corriente y sus espermatozoides fecundan los óvulos en medio de las turbulentas y frías aguas de montaña. El ser recién formado tiene que sujetarse a alguna planta hasta que termina su desarrollo embrionario. En los mamíferos, como nosotros, el macho inyecta sus gametos en el interior de la hembra a través de la vagina. Los espermatozoides impulsados por sus colas avanzan por las paredes húmedas del aparato genital de la hembra, hasta que uno de ellos tiene la fortuna de toparse con el óvulo y lo fecunda.

El coito cara a cara

En nuestros más remotos ancestros, como *Ardipithecus ramidus*, el coito debía de ser tan mecánico y aburrido como es hoy

en la mayoría de los monos, exceptuando a los bonobos, los chimpancés pigmeos, que son los primates más próximos a nosotros. En los monos no suele haber ningún tipo de galanteo, y la actividad precopulativa es breve o inexistente.

En todas las hembras de los primates, la vagina se abre en la parte posterior del cuerpo, justo debajo del orificio anal. Esta circunstancia y las características del pene de los primates obligan a que habitualmente la penetración se realice desde atrás. El pene del macho primate es pequeño y muy rígido debido a que en ellos la erección se logra gracias a una especie de hueso llamado báculo. El macho se aproxima a la hembra por la espalda. La hembra levanta el rabo y sus cuartos traseros y dirige su vulva rosada hacia el macho. Éste, excitado por el gesto, los olores y los vivos colores de la vulva en celo de la hembra, la monta sin más rituales. Entre ambos se establece un mínimo contacto, apenas la región inguinal del macho que se aprieta contra la rabadilla de la hembra en rápidos y breves golpeteos mientras la penetra. En pocos segundos, el macho eyacula y enseguida se separan, se marcha cada uno por su lado y retoman inmediatamente la actividad que realizaban momentos antes de esta breve y, aparentemente, intrascendente interrupción.

La mona, una vez inseminada, puede alejarse sin temor a perder el flujo seminal depositado en el fondo de la vagina ya que, al andar a cuatro patas, su conducto vaginal se dispone prácticamente en un plano horizontal, ligeramente inclinado hacia abajo, lo que facilita la progresión de los espermatozoides hacia el fondo, en dirección al cuello del útero.

Este mecanismo tan universal de inyección de los espermatozoides en la vagina de la hembra se vio trastocado por un cambio evolutivo tan extraordinario como fue la bipedestación. La capacidad de andar sobre dos extremidades no fue algo que se concedió a nuestros ancestros gratuitamente y al instante: los huesos de la pelvis tuvieron que sufrir numerosas modi-

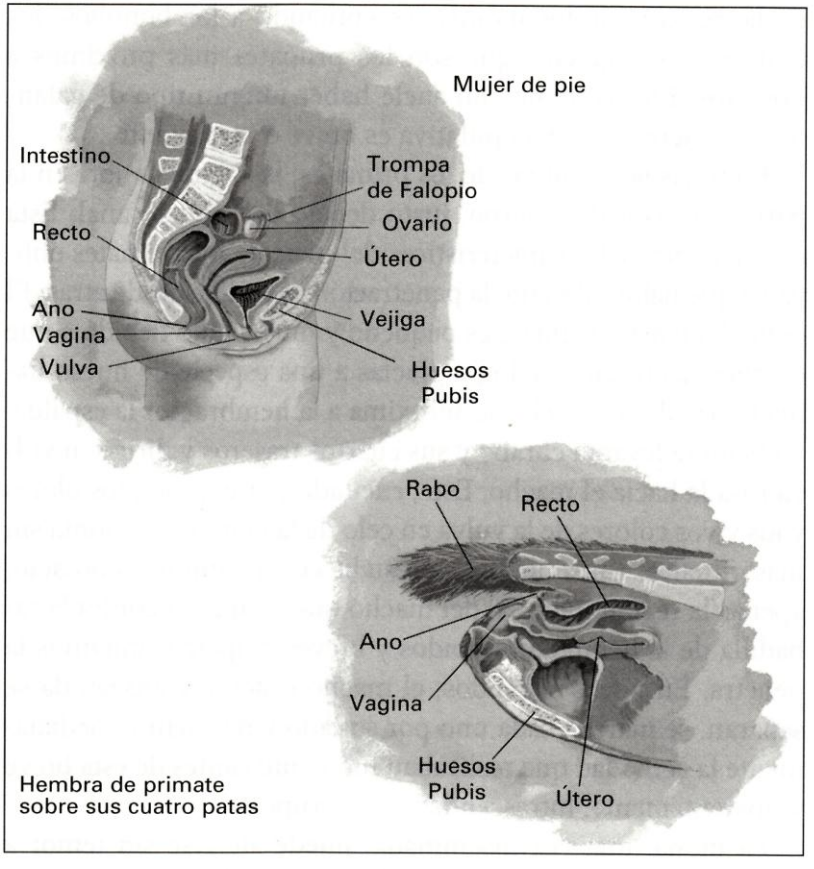

FIGURA 5.1. Comparación de los órganos sexuales de una mujer y de una hembra de primate.

En cualquier hembra de mamífero, cuando camina a cuatro patas, su vagina se dispone en un plano horizontal, ligeramente inclinado hacia abajo. En estas circunstancias si caminase de inmediato tras recibir una eyaculación de un macho, el esperma sería facilmente retenido dentro de su vagina aunque un pene pequeño no lo depositará a mucha profundidad. En la hembra humana, dada la disposición de su aparato genital, cuando permanece de pie su vagina se dirige hacia delante y hacia abajo. En estas condiciones la deambulación inmediata tras recibir una eyaculación podría favorecer la pérdida de parte del esperma por el simple efecto del movimiento y de la gravedad.

ficaciones consecutivas a lo largo de millones de años hasta permitir una bipedestación estable y permanente. Estos cambios óseos se tradujeron en variaciones en los músculos y en la disposición de las vísceras que ocupan la pelvis. El macho, en el hueco de la pelvis sólo tiene alojados la vejiga de la orina y los intestinos; la hembra, además de estas vísceras, posee el aparato genital, que aumenta de tamaño durante el embarazo.

La bipedestación no supuso grandes problemas para la disposición anatómica y funcional de las vísceras del macho, pero exigió profundas transformaciones en el aparato genital de la hembra. Uno de esos cambios fue la disposición de la vagina, que al modificarse la arquitectura de la pelvis sufrió una rotación hasta colocarse en la posición que se presenta en las mujeres hoy: la vagina se abre hacia delante, con una clara posición ventral de la vulva.

Son numerosas las repercusiones importantes que tuvo en nuestra evolución este hecho aparentemente banal. Una de ellas es que permitió la cópula cara a cara, característica exclusiva de la especie humana. Ésta, por supuesto, no es la única postura posible en el apareamiento humano, en especial a causa de la extraordinaria flexibilidad del pene humano (la erección se produce al aumentar la presión de la sangre, sin que exista ningún hueso rígido en su interior). Muchos autores opinan que la cópula cara a cara tuvo una gran importancia en la aventura humana. Por primera vez en toda la historia evolutiva de la vida sobre este planeta un macho y una hembra podían abrazarse, mirarse a los ojos y rozar sus caras mientras copulaban. Sí, seguro que ha tenido alguna trascendencia en nuestra evolución el hecho de que seamos los únicos seres vivos a los que se nos ha permitido besarnos mientras mezclamos nuestros genes.

La competencia espermática

La tarea de los espermatozoides no termina al ser inyectados en el interior de la hembra; es entonces cuando se inicia una carrera desesperada de cientos de millones de ellos para que uno sólo logre alcanzar el óvulo y fecundarlo. El óvulo aguarda, con paciencia y resignación, la que le viene encima, mientras desciende lentamente, desde el ovario que lo liberó a través de las trompas uterinas.

En las hembras de los primates antropomorfos la disposición de la vagina mientras caminan, a cuatro patas, permite retener el esperma que acaba de eyacularle el macho. Ésta es posiblemente la razón de que los penes de los monos antropoides sean minúsculos; no tienen que esforzarse en colocar el precioso material genético lo más profundamente posible. Un gorila macho con más de doscientos kilos de peso tiene un pene que no sobrepasa los cinco centímetros en erección, y sin ningún resalte o abultamiento. En las hembras de los homínidos, nuestros antecesores, que ya caminaban sobre dos patas, el riesgo de perder gran parte del esperma si comenzaran a caminar inmediatamente tras realizar el coito sería elevado. Mientras caminaba, la vagina de una hembra de *Autralopithecus afarensis*, como la de cualquier mujer actual, se dirigía hacia abajo. Si los espermatozoides se depositaran al comienzo de la vagina y la hembra comenzara a caminar inmediatamente tras el coito, existirían muchas probabilidades de perder el semen por la simple fuerza de la gravedad. Posiblemente ésta sea una de las razones (luego consideraremos otras) del extraordinario tamaño del pene en el hombre; el mayor, tanto en términos absolutos como relativos al tamaño corporal, de entre todos los primates.

Pero los problemas de los espermatozoides no terminan aquí. En la mayor parte de las especies, y en algunas de nues-

tras antecesoras, las hembras se apareaban con varios machos durante el periodo que duraba el celo, que es cuando eran receptivas. Los espermatozoides pueden sobrevivir varios días en el ambiente del aparato genital femenino a la espera de que se produzca la ovulación. Esta es la razón por la que una mujer es fértil incluso dos o tres días antes de la ovulación. La promiscuidad de las hembras plantea a los espermatozoides un nuevo reto: la competencia. Cada espermatozoide no sólo compite con sus hermanos del mismo eyaculado, sino que tiene que hacerlo con espermatozoides extraños. Esta competencia espermática ha obligado a que los machos evolucionaran desarrollando mayores testículos, mayores volúmenes de eyaculado, espermatozoides de diseño que nadan más rápidamente, que sobreviven más tiempo, y hasta espermatozoides «terminators» dotados de armas que les permiten eliminar del tracto genital femenino a los espermatozoides competidores.

En los primates el tamaño de los testículos aumenta con la intensidad de la competición espermática; ya veremos como este hecho nos aporta datos valiosos sobre la forma de vida de nuestros antecesores homínidos. En los gorilas que viven en harenes dominados por un solo macho no existe apenas competencia espermática, ya que las hembras sólo copulan con el macho dominante; por eso los gorilas tienen unos testículos muy pequeños en proporción con el tamaño de su cuerpo: no hay competencia espermática, así que no compensa esforzarse en fabricar muchos espermatozoides. Los chimpancés viven en grupos de machos y hembras y éstas son muy promiscuas y copulan con varios machos del grupo. A causa de la intensa competición espermática, los machos de chimpancé han evolucionado desarrollando unos enormes testículos, de casi ciento veinte gramos, capaces de producir gran cantidad de espermatozoides. Los machos de la especie humana tienen un tamaño testicular intermedio y producen de cien a cuatrocientos millo-

nes de espermatozoides por eyaculado. Todo indica que a lo largo de la evolución el nivel de competencia espermática de nuestros ancestros fue más parecido al del chimpancé que al del gorila.

Son tantas las dificultades que tiene que superar un espermatozoide para cumplir su destino genético que no es de extrañar que sean eyaculados por cientos de millones, como medio para garantizar que al menos uno alcance la meta: cuantos más espermatozoides, más billetes para esa lotería. Los espermatozoides sufren una gran mortandad en el intento. A lo largo de su viaje, van muriendo en el aparato genital femenino, como consecuencia del ambiente hostil que encuentran tanto en la vagina como en el útero: el recorrido está lleno de trampas químicas y de peligrosas mucosidades. Los espermatozoides primero tropiezan con la acidez de la vagina (lo ácido les sienta mal; es el fundamento de un viejo y arriesgado método anticonceptivo); allí se quedan el noventa por 100. El resto intenta atravesar el cuello uterino, donde gran parte de los supervivientes se quedan enredados en el espeso tapón mucoso que bloquea la entrada. Finalmente, unos pocos comienzan a recorrer la pared del útero, eludiendo la tenaz y peligrosa defensa inmunológica que los considera gérmenes extraños e intenta eliminar a los intrusos. Para cuando logran enfilar la trompa de Falopio, en cuyo tercio inferior es donde deben encontrar al óvulo, sólo ha logrado sobrevivir un centenar escaso de espermatozoides. Ésta es la causa de que un hombre con un recuento espermático de cincuenta millones de espermatozoides probablemente sea estéril.

Es curioso que uno de los ingredientes esenciales para tener espermatozoides ganadores, como es el que tengan una buena provisión de energía para moverse, no pueda transmitirse de padre a hijo, ya que es heredado sólo de la madre. Se sabe que en las clínicas de fertilidad no sólo se valora el número total de

espermatozoides que son eyaculados, sino también su movilidad. En efecto, al tratarse de una auténtica carrera de obstáculos, en la que tienen que competir los espermatozoides por el premio de la fecundación, la velocidad es un elemento esencial de la prueba. Un espermatozoide se compone de una cabeza, que alberga el material genético; un cuello, donde se sitúan las mitocondrias, que son los orgánulos que proporcionan la energía para moverse, son sus motores, y una cola, que es la que impulsa al espermatozoide en su carrera desenfrenada. Cuando el espermatozoide encuentra el óvulo introduce en su interior el material genético que porta en su cabeza, pero el cuello y la cola quedan fuera.

En el nuevo ser que se forma tras combinarse el material genético del óvulo y del espermatozoide las únicas mitocondrias que quedan son las del óvulo, por lo tanto las de la madre. Cuando se culmine el desarrollo del nuevo individuo todas sus mitocondrias, de todas sus células, incluidos los espermatozoides si se trata de un macho, procederán de su madre.

Es curioso considerar que es la hembra la que controla las características que hacen que un espermatozoide tenga éxito: su número a través de la competencia espermática y lo inhóspito del tracto genital, y la movilidad del espermatozoide a través de las mitocondrias, esos minúsculos orgánulos que hacen moverse las colas de los espermatozoides al generar la energía que necesitan.

El orgasmo en el macho

Los genes pueden ser egoístas, pero no tontos. Por eso, a lo largo de la evolución de las especies han ido desarrollando diferentes estrategias para favorecer y estimular la reproducción. Garantizan de esta manera que se cumpla su deseo: hacer el

mayor número de copias de su ADN y dispersar estas copias dentro del mayor número de envases posible.

Según las teorías del coste energético de la reproducción, el macho debe garantizar su éxito reproductor y asegurar la transmisión de sus genes; para ello tendrá que copular con la mayor cantidad posible de hembras, con la esperanza de que en alguna de ellas logre su objetivo. Pero la tarea es arriesgada, pues debe realizar el esfuerzo de encontrar la hembra adecuada, pasar los peligros que implica la lucha contra otros machos rivales y, finalmente, al acercarse a la hembra, soslayar el riesgo de que ésta le reciba a coces o a mordiscos. Por eso los genes han dispuesto que el macho reciba una recompensa placentera irresistible que le anime a buscar e inseminar a una hembra con su esperma al precio que sea. Esta recompensa placentera es el orgasmo.

El orgasmo en el macho es un proceso fisiológico complejo que culmina con una repentina sensación de intenso placer que acompaña casi de forma inseparable a la eyaculación. En el hombre, y en la mayor parte de los primates, el complejo proceso del placer sexual tiene cuatro fases:

1. Fase de excitación. En respuesta a muy variados estímulos y en especial la proximidad de la hembra en celo, los tejidos del pene se llenan de sangre ocasionando el alargamiento y la erección del pene. La piel del escroto se contrae y se pegan los testículos al cuerpo.

2. Fase de plateau. La congestión sanguínea en el área genital aumenta. Se incrementa el ritmo respiratorio, se acelera la frecuencia cardiaca y aumenta la presión arterial. El pene está completamente erecto y el glande aumenta de tamaño y se cubre de secreciones.

3. Fase de orgasmo. Ocurre una intensa sensación, generalmente placentera, en un momento variable de la relación sexual. La manifestación física consiste en que la región genital,

los órganos pélvicos y casi toda la musculatura facial sufren una serie de contracciones rítmicas, a la vez que aumenta el ritmo de la respiración, la frecuencia cardiaca y la presión arterial.

Las contracciones afectan a los conductos deferentes (los que transportan los espermatozoides), las vesículas seminales y la próstata; el fluido seminal se transporta hacia la base de la uretra, y en ese momento el hombre siente una sensación de «inevitabilidad» eyaculatoria: va a ocurrir y no puede detenerlo. Luego se contraen rítmicamente el bulbo uretral y el pene y se expulsa el semen mediante la eyaculación.

4. Fase de resolución. Pocos minutos después del orgasmo, se reinvierten todas las fases anteriores y el cuerpo retorna al estado basal. La erección cesa rápidamente y todo vuelve a su estado de reposo. Se entra en un periodo refractario de duración variable (desde minutos a horas) durante el cual el macho es incapaz de tener otra erección y de disfrutar de otro orgasmo.

Posiblemente la cuestión de mayor interés en relación con el asunto que estamos tratando en este libro sea que en el macho la sensación placentera (orgasmo) está inevitablemente unida a la función procreadora (eyaculación). La serie de contracciones que ocurren con el orgasmo tienen por misión eyectar el líquido seminal y los espermatozoides con la mayor presión y velocidad posibles. La finalidad es que penetren los gametos profundamente en la vagina para facilitar la fecundación. Veremos que éste no es el caso en las hembras.

El orgasmo en la hembra

Es posible que el orgasmo sea una característica exclusiva de la hembra de la especie humana. No sabemos muy bien qué es lo que siente una hembra de gorila o una chimpancé cuando las montan los machos. El orgasmo es fundamentalmente una sen-

sación y eso es difícil de cuantificar en animales. Estudios en las hembras de primates muestran que éstas experimentan cambios fisiológicos parecidos a los que ocurren en la mujer durante el orgasmo. Además, existen documentos que muestran que algunas hembras de primates antropomorfos se masturban. Las hembras de orangután se autoestimulan con juguetes sexuales que ellas mismas fabrican con ramitas flexibles. El bonobo, el primate genéticamente más cercano a nosotros, es una criatura sensual a la que le gusta practicar el sexo de diversas maneras. Las hembras de los bonobos practican el sexo entre ellas: una se tumba de espaldas y la otra se monta encima y se refriegan los genitales. Pero, aún así, numerosos autores opinan que la sensación placentera que disfrutan estas hembras está lejos del orgasmo de la mujer. Veamos brevemente cuáles son las fases del proceso del placer sexual en la mujer:

1. Fase de excitación. Diversos estímulos, en ocasiones de naturaleza más compleja y sutil que en el hombre, desencadenan una vasocongestión en los tejidos que rodean la vagina y ocasionan una ligera hinchazón de los labios mayores y menores, la dilatación de la vagina y la secreción de un material lubrificante. El glande del clítoris, en un proceso parecido a lo que sucede con la erección del pene, se alarga y se endurece. La vasocongestión también afecta a las mamas, que aumentan de tamaño ligeramente, y la contracción de los músculos alrededor de la areola mamaria permite la erección del pezón.

2. Fase de plateau. Continúa y se mantiene el proceso de vasocongestión en los órganos genitales y en las mamas. Se acelera la respiración y el ritmo cardiaco. Aumenta la presión arterial.

3. Fase de orgasmo. La expresión física característica consiste en una serie de contracciones rítmicas en la zona perineal, de la vagina y del útero. No siempre la excitación sexual conduce al orgasmo y cada mujer requiere unas determinadas condicio-

nes y diferentes tipos y cantidad de estimulación para alcanzarlo. Si todo va bien se aceleran aún más la respiración y el pulso, y aumenta la presión arterial. Cuando las contracciones alcanzan un máximo la sensación puede ser muy intensa y se acompaña de contracciones de toda la musculatura.

4. Fase de resolución. Se reinvierten los procesos, y todo el organismo lentamente va retornando a la normalidad. Se reduce la congestión sanguínea en los órganos genitales y en las mamas. Se recupera poco a poco el ritmo respiratorio y la frecuencia cardiaca. El clítoris retorna a su estado basal. Cesan las contracciones vaginales y uterinas, y la vagina y los labios mayores y menores reducen su tumefacción.

A diferencia de lo que sucede en el hombre, el orgasmo femenino no se sigue de un periodo refractario. Esto ocasiona que una mujer pueda experimentar orgasmos consecutivos, sin apenas separación entre uno y otro. La razón evolutiva de esta diferencia puede estar al servicio de la promiscuidad de la hembra y la competencia espermática. Si imaginamos a nuestros antecesores, en ellos el periodo refractario del macho le obligaba a separarse de la hembra a la que acaba de inseminar. La ausencia de periodo refractario en la hembra favorecía la posibilidad de recibir a otro macho inmediatamente después de que el anterior hubiera dejado el sitio libre.

Hay otras dos cuestiones que conviene destacar del orgasmo femenino que tienen interés con relación a los aspectos evolutivos de la especie humana. Una se refiere a que la mujer no eyacula. El hombre sólo emite gametos si hay estimulación sexual; pero en la hembra la emisión del óvulo se produce de forma automática, en un momento determinado del ciclo ovárico, sin que tenga relación alguna con el orgasmo, ni siquiera con la relación sexual: en la mujer, a diferencia del hombre, el placer sexual y la fecundación no tienen por qué estar unidos. Por otra parte, la ovulación puede ocurrir por la

influencia de una situación estresante, que ocasione en la mujer una conmoción nerviosa y hormonal. Ésta es una de las causas de que haya tantas fecundaciones en adolescentes, cuando mantienen relaciones sexuales por primera vez, y en las violaciones.

¿Para qué sirve el orgasmo femenino?

Ya que una mujer puede cumplir su función reproductora sin disfrutar del orgasmo, podría parecer que el orgasmo de las hembras de nuestros ancestros no aportaba ninguna ventaja adaptativa. Pero si fuera así, ¿por qué la evolución lo favoreció y lo potenció por encima de lo que sucede en las hembras de otros primates? O formulando la cuestión desde otro ángulo: ¿Cómo pudo contribuir a incrementar el éxito reproductivo de las hembras de los homínidos su capacidad para experimentar orgasmos durante los encuentros sexuales? Se han aducido varias posibilidades:

1. El orgasmo contribuiría a promover el deseo de las hembras de los homínidos por mantener unas relaciones sexuales que les proporcionaban placer. El clítoris es anatómicamente homólogo a un pene y desencadena sensaciones placenteras, y funcionaría como un órgano que favorecería el tener relaciones sexuales con machos capaces de proporcionar niveles elevados de placer sexual. Se desencadenarían procesos de refuerzo del aprendizaje y apego emocional.

2. El orgasmo crearía y estabilizaría los vínculos entre la hembra y el macho en la pareja monógama de nuestros ancestros. Es decir, fomentaría los emparejamientos selectivos con aquellos machos dispuestos a invertir una mayor cantidad y calidad de atenciones, de tiempo y de recursos materiales en la hembra y sus crías.

3. Por el contrario, el orgasmo de la hembra podría servir para que ésta, ante tal recompensa placentera, aceptara mantener relaciones sexuales con varios machos del clan y así fomentar la promiscuidad y evitar el infanticidio de sus crías. Ya veremos que la promiscuidad es un mecanismo que sirve para camuflar la paternidad de un recién nacido.

4. Una de las teorías más convincentes es la que considera que el orgasmo fue el método que encontró la evolución para retener el esperma en el interior del aparato genital de una hembra bípeda. La fuerza que gobierna la evolución, la selección natural, suele buscar la máxima rentabilidad para cada novedad que se introduce en una especie; así ocurrió con el orgasmo. Recordemos que ya en las hembras de los australopitecinos, con la vagina dirigida hacia delante y hacia abajo, al incorporarse inmediatamente tras la cópula y comenzar a caminar, su vagina adoptaría una posición casi vertical. Por el simple efecto de la fuerza de la gravedad y el movimiento de deambulación, el fluido seminal podría descender y se perdería en gran parte y se reduciría la probabilidad de una fecundación. El orgasmo de la hembra y la laxitud posterior, con una leve sensación de fatiga y cierta somnolencia, forzaría un breve reposo poscoital, sólo de unos minutos, el tiempo necesario para permitir la progresión de los espermatozoides a través de esa trampa de no retorno que es el moco del cuello uterino. Incluso estas hembras abrazarían y retendrían al macho obligándole a que mantuviera su pene dentro de la vagina, mientras continuarían las contracciones rítmicas finales que exprimirían y succionarían el esperma al interior de la vagina.

5. La función aspirativa es importante. El orgasmo se acompaña de potentes contracciones vaginales y uterinas que favorecen la aspiración hacia el útero de los espermatozoides. Esto podría representar el mecanismo a través del cual la hembra in-

terviene en el proceso de competencia espermática, ya que serviría para seleccionar el esperma de unos machos y no de otros al controlar la retención del esperma inseminado; por supuesto tendría más posibilidades de retenerse el esperma del macho que hubiera desencadenado un orgasmo y un gran placer sexual a través de las intensas contracciones aspirativas que desencadenaría su buen hacer.

Esto también podría explicar otras de las aparentes paradojas, como es el hecho de que los orgasmos del hombre y la mujer casi nunca están coordinados. Sistemáticamente resultan más precoces y breves en el hombre, y más tardíos y mantenidos en la mujer. Esto, que ocasiona problemas en muchas parejas, también podría tener una razón evolutiva. Un homínido macho con orgasmo tardío tendría muchos problemas para fecundar a las hembras. Podría terminar el coito antes de que hubiera eyaculado porque la hembra se hubiera satisfecho pronto y no deseara continuar la cópula. Es decir, una hembra con orgasmo precoz interrumpiría el coito antes de que el macho eyaculara y en consecuencia tendría menos probabilidades de tener descendencia que otra hembra con una respuesta sexual más pausada. Este último comportamiento fue el seleccionado por la evolución. Un vestigio de esta adaptación es la tendencia que tienen algunos hombres a la eyaculación precoz.

BIBLIOGRAFÍA

Buss, D. M., *The Evolution of Desire*, Basic Books, Nueva York, 1994.

Joseph, R., *Sexuality: Female evolution and erotica*, University Press, California, 2002.

Marina, J. A., *El rompecabezas de la sexualidad*, Anagrama, Barcelona, 2003.

Symons, D., *The Evolution of Human Sexuality*, Oxford University Press, Nueva York, 1979.

En Internet:

Cardoso, S. E., *Female Orgasm*, State University of Campinas, Brasil: *http://www.cerebromente.org.br/n03/mente/orgasm_i.htm*

Guillen Salazar, F., y G. Pons Salvador, *El orgasmo femenino ¿adaptación o subproducto de la evolución?*: *http://www.ugr.es/~pwlac/G16_18Federico_Guillen-Gemma_Pons.html*

Millar, G. F., *A Review of Sexual Selection and Human Evolution: How Mate Choice Shaped Human Nature*: *ESRC Centre on Economics Learning and Social Evolution*

6

Los lazos afectivos

La necesidad de agruparse

Todos los animales viven formando grupos más o menos complejos: bandada, rebaño, cardumen, tribu, etc. Son varios los factores que determinan el tipo de organización social; el tamaño, la composición, la actividad y la relación que se establece entre los individuos que forman un grupo son diversos. Es evidente que la ventaja defensiva frente a las agresiones de los predadores es un buen motivo para agruparse; también lo es el tipo de alimentación y la mejor acomodación a las características del entorno. Pero sin lugar a dudas el principal motivo que condiciona el agrupamiento de los animales está relacionado con la reproducción: el apareamiento, el cuidado de las crías y la vinculación sexual.

La reproducción no se termina con la fecundación. En muchas circunstancias es entonces cuando empiezan los verdaderos problemas, que son mínimos en algunas especies y abrumadores en otras. Por eso el reino animal despliega un amplio abanico de estrategias con respecto a todo lo que tiene que ver con el desarrollo y los cuidados de las crías. Podemos encon-

trar especies que producen millones de crías a lo largo de la vida de cada individuo, como ocurre con los insectos o con los peces, que abandonan a su suerte sin ningún cuidado parental y donde el potencial teórico reproductivo de cada individuo es enorme, aunque recortado por la presión ambiental. Sin embargo, hay insectos, como las abejas, que someten a sus crías a un atento y minucioso cuidado hasta que se convierten en obreras adultas. También existen peces que protegen y transportan a sus crías dentro de la boca hasta que completan su desarrollo.

Las aves ponen un número limitado de huevos y los polluelos precisan ser protegidos y alimentados durante un dilatado periodo de tiempo, en proporción a la duración total de la vida de cada individuo. Aunque algunas aves formen enormes poblaciones, dentro de cada una de ellas funcionan las relaciones parentales, generalmente monogámicas, para el cuidado de los polluelos.

En los mamíferos, el número de crías que una hembra puede conducir con éxito a través de la gestación y la lactancia es muy limitado. Cada hembra tiene unas pocas crías a las que precisa lactar con la leche que ella misma fabrica. Dado el tiempo que dura el embarazo, más el periodo de esterilidad durante la lactancia natural, esto establece un límite al número de crías que puede producir una hembra a lo largo de su vida fértil. La mayor parte de los machos mamíferos no interviene en la nutrición y en el cuidado de las crías, sólo en la defensa del rebaño frente a los depredadores, y eso no en todas las especies. De esto se desprende la necesidad de un cierto grado de cooperación parental y familiar para defenderse y sacar adelante a las crías en la mayor parte de los animales y, sobre todo, en los primates.

Los tipos de vinculación parental que se establece en la mayoría de los animales corresponden a dos grandes modelos: la

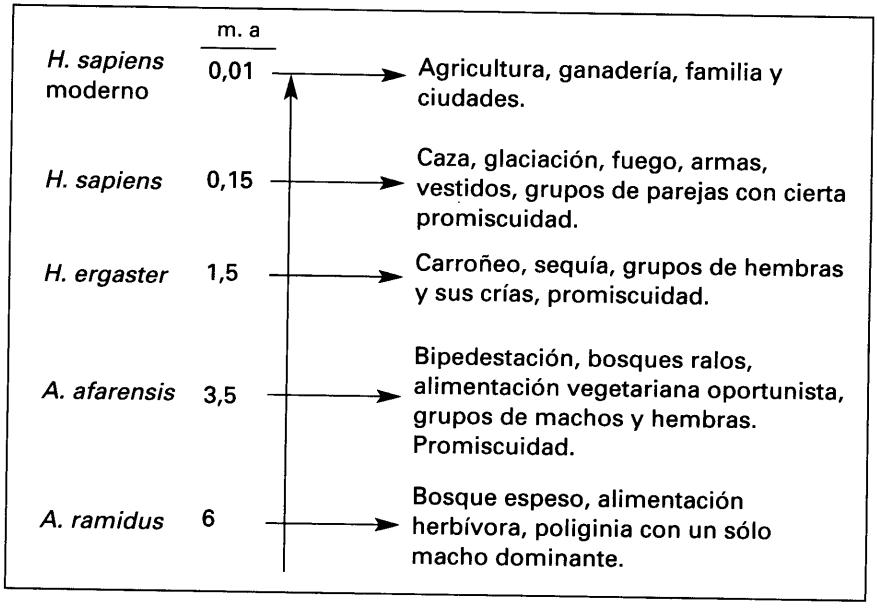

FIGURA 6.1. Evolución de los modelos de agrupación parental en los homínidos.

Hace seis millones de años *Ardipithecus ramidus* habitaba un bosque tropical espeso y posiblemente estos antepasados se constituían en agrupaciones poligínicas con un solo macho dominante, similares a las de los gorilas. Los *Australopithecus afarensis* se enfrentaron a condiciones de vida más duras, comían cualquier cosa que encontraban. La bipedestación y la modificación del entorno los obligó a agruparse en comunidades de machos y hembras similares a las del chimpancé. *Homo ergaster*, con su cerebro de casi un litro y su capacidad de construir herramientas de piedra, recurrió al carroñeo y la caza. Sus crías nacían muy inmaduras y necesitaban protección durante largo tiempo, lo que fomentaría los emparejamientos más estables. *Homo sapiens* arcaico, dotado de inteligencia, capaz de fabricar armas eficaces y de dominar el fuego, se enfrentó a la terrible prueba de las glaciaciones. Los cuidados de las crías tan desvalidas precisaron la cooperación activa del macho y de la hembra. *Homo sapiens* moderno desarrolló la agricultura y la ganadería, construyó ciudades e inventó las normas sociales y la religión. Y legalizó la unión del hombre y de la mujer mediante diversas fórmulas. Se afianzó el concepto de familia.

monogamia y la poligamia. La monogamia es la agrupación de un macho y de una hembra. Es muy frecuente en las aves; este tipo de relación puede ser ocasional, es decir, durante una estación y con el fin de procrear, o definitiva, es decir, para toda la vida. Entre los primates, al parecer sólo el gibón practica este tipo de vinculación. Más adelante consideraremos que en lo referente a la monogamia y la fidelidad en el reino animal, humanos incluidos, no es oro todo lo que reluce. La poligamia se refiere a cualquier modelo de apareamiento múltiple. Lo más frecuente entre los mamíferos es la poliginia, o harén (poliginia de un solo macho, *unimale polygyny*), que es la relación parental que se establece entre un macho y varias hembras. Es la organización parental típica de los gorilas. La poliginandria, utilizando el acertado término propuesto por M. Lucas, y que en terminología anglosajona se denomina poliginia multimachos (*multimale polygyny*), es el apareamiento múltiple entre varios machos y varias hembras que viven en un mismo grupo. Ésta es la forma de organización parental de los chimpancés.

Hay que tener en cuenta que a lo largo de toda la escala filogenética podemos encontrar cualquiera de estos modelos de vinculación sexual y parental y hasta combinaciones más exóticas. Pero ¿cuál era el modelo de vinculación entre los homínidos, nuestros antecesores evolutivos? Para responder a esta cuestión vamos a analizar con cierto detalle las principales formas de organización parental.

La poliginia

Las hembras de los mamíferos forman agrupamientos que pueden estar, o bien al cuidado permanente de un macho, o bien que éste aparezca en el rebaño sólo en el momento del apareamiento. Para acceder a las hembras, los machos han de

competir con los demás machos de su especie, ocasionándose cortejos complicados mediante peleas rituales, constantes y violentas. Entre los machos poligínicos se establecen jerarquías muy estrictas en el rebaño, como sucede con los gorilas, o se destierra a los machos jóvenes a una vida solitaria y periférica al rebaño principal, como sucede con los leones. Entre la mayoría de los herbívoros, los machos compiten entre sí en las épocas de celo. Los machos vencedores fecundan a todas las hembras y los perdedores son excluidos de las tareas procreadoras.

En general, una vez cumplida la misión reproductora, sobreviene en el rebaño un desinterés sexual absoluto, e incluso los machos se alejarán de las hembras hasta que llegue la nueva época de celo. Los machos no intervienen ni en la alimentación ni en el cuidado de las crías y, en algunos casos, ni siquiera en la defensa del rebaño. En muchos carnívoros sociales, como los leones, hay un contacto permanente entre los machos dominantes y el grupo de hembras y sus crías, y existe un cierto grado de cooperación en la alimentación, cuidado y defensa de las crías.

Muchos monos forman comunidades poligínicas, entre los que destaca nuestro primo el gorila. Aunque en el grupo haya varios machos adultos jóvenes, sólo uno tiene el dorso plateado. El «espalda plateada» es quien domina al grupo y el único que se aparea con todas las hembras: es un sistema de harén. Los gorilas son herbívoros, sólo se alimentan de tallos, hojas y frutas, y esta forma de alimentación condiciona su organización social, de unos veinte individuos. Las plantas son muy abundantes en el entorno de selvas húmedas en las que habitan, aunque no son alimentos muy nutritivos. Así que para poder obtener una nutrición adecuada los gorilas deben pasar el día entero comiendo y para ello no tienen que moverse mucho ni arriesgarse a procelosas travesías selváticas; sólo alargar el brazo para arrancar un tallo tierno, con jugosas hojas. Estas

circunstancias proporcionan estabilidad al grupo, facilidades para su defensa y condicionan la poligamia.

El «espalda plateada» tienè que preocuparse de mantener su harén a salvo del esperma de otros machos, defender a las hembras y a sus crías y proteger de otros competidores el entorno alimenticio donde viven. Los machos dominantes son muy tolerantes con sus propias crías, las que llevan sus propios genes, a quienes defienden con ardor de los depredadores o de los otros machos. Pero no toleran a las crías de otros machos, que portan genes extraños. El infanticidio es un instinto natural entre los machos de muchas especies de primates. Veamos cuál es la importancia adaptativa de este desagradable instinto.

Ya sabemos que el egoísmo de los genes que se albergan en un individuo le «obligan» a que se preocupe por conseguir que se genere el mayor número de copias posibles de dichos genes (reproducción) y que se asegure de la supervivencia de los «nuevos envases» que los portan (cuidado de las crías). Un macho gorila dominante preserva la supervivencia de sus propios genes protegiendo a las crías que los portan. Pero si una hembra aparece en el grupo llevando una cría lactante, procedente de otro grupo del que se ha extraviado, el macho dominante del grupo al que se incorpora matará inmediatamente a la cría. También se produce una auténtica «matanza de inocentes» cuando un «espalda plateada» es vencido y el harén pasa a tener un nuevo propietario. Con estas acciones se obtiene una doble ventaja. Por una parte el macho no tiene que gastar energía y arriesgar su vida en cuidar y proteger genes que no son suyos. Por otro lado consigue que las hembras, al perder a sus crías y dejar de lactar, experimenten los correspondientes cambios hormonales y vuelvan a entrar rápidamente en celo; así el macho dominante pueda fecundarlas con sus propios genes. Este comportamiento es común en muchas especies además de en los primates. El infanticidio comporta recompensas genéti-

cas para los machos, que con este procedimiento se vuelven progenitores más fecundos que los machos que no matan crías.

La poliginandria

Es la vinculación sexual y parental que se establece entre varios machos y varias hembras. Este modelo de vinculación es frecuente entre algunos monos, y en especial entre nuestros primos hermanos, los chimpancés.

Los chimpancés viven en pandillas de machos y de hembras genéticamente emparentados, de veinticinco a cien individuos. Estos grupos tienen capacidad de fusión con otros grupos para aumentar su tamaño, o de fisión, es decir, de disgregamiento de un grupo en otros menores, según lo aconsejen las necesidades de supervivencia. Los chimpancés muestran un elevado grado de cooperación y socialización de sus relaciones, de jerarquías, de comunicación y de acercamiento. Practican un acicalamiento mutuo y continuo, el despioje, que además de la función higiénica ejerce una misión apaciguadora y hace que entre ellos mantengan diversas formas de comunicación mediante los gestos, las risas y los gruñidos. Aunque los chimpancés machos adultos expresan conductas agresivas hacia otros machos, en general se toleran y colaboran unos con otros. Esto se debe en parte a que en su organización, aunque existen jerarquías, no se les impide el libre acceso a las hembras. Practican relaciones muy promiscuas. Una hembra puede ser montada por varios machos de manera consecutiva, todos genéticamente emparentados y, por lo tanto, con material genético parecido. Hay varias razones adaptativas que justifican este comportamiento. En primer lugar, provocan la competición entre el esperma de distintos machos. Y por otro lado, la teoría del camuflaje también explica el valor adaptativo de la promiscuidad. Una hembra, al

aparearse con todos los machos del grupo, crea confusión respecto a la paternidad, lo que acarrea dos ventajas: por una parte protege a su cría del infanticidio, y por otra alienta la actitud protectora y los cuidados parentales hacia su cría por parte de todos los machos.

Ante el reclamo receptivo de las hembras, lo que sucede sobre todo en la fase ovulatoria del ciclo menstrual, cuando se produce la máxima hinchazón de los genitales externos, los machos comienzan a pelearse con más frecuencia y con más intensidad. Aunque se da una jerarquía entre los machos, las hembras pueden rechazar a los machos más desfavorecidos rehusando copular con ellos. Las hembras siempre prefieren copular con los machos de alto rango, capaces de proteger a sus crías de los otros machos; también aceptan machos específicos con los cuales se ha formado una relación especial a través de un cortejo o mediante una relación amigable de despioje y de cuidados mutuos, y se ofrecen a nuevos machos llegados de fuera del grupo, para así proteger a sus crías contra el infanticidio.

La variabilidad genética, tan necesaria para la especie, se obtiene mediante dos mecanismos fundamentales. Por una parte la exogamia, a cargo de algunas hembras jóvenes que abandonan su grupo para integrarse en otro y procrear allí. Por otra parte, los machos de un grupo grande, si durante sus correrías selváticas se topan con otro grupo menor, matan a los machos y a las crías e incorporan las nuevas hembras a su grupo.

El cuidado de las crías corre a cargo de las hembras, que las transportan, las amamantan y les procuran alimentos. Los machos colaboran encontrando árboles frutales, que señalan con aullidos, chillidos o risas, y procurando algo de caza, aunque en su mayoría se la comen los propios cazadores (no pueden transportar alimentos). Los machos también cumplen una misión de defensa del territorio mediante patrullas bien organizadas.

Un caso especial es el de los bonobos, los chimpancés pigmeos que habitan al sur del río Congo. Se parecen mucho a los chimpancés, pero han evolucionado aparte desde que los separó hace dos millones de años la barrera infranqueable del gran río africano. Se alimentan de frutas y de vegetales y viven en grandes territorios que comparten grupos donde hay hembras y machos. Es una organización social y sexual centrada en las hembras, que son capaces de dominar e intimidar a los machos. Los machos son poco agresivos entre sí; se puede decir que el macho del bonobo es de carácter amable y cordial. Las hembras forman alianzas entre ellas y se socorren mutuamente. Es normal que una hembra adulta ayudada por sus amigas pueda superar a cualquier macho adulto. Los bonobos son los simios más lujuriosos del planeta. El sexo sustituye la agresividad. Es como si los machos tuvieran que ahorrar energía para atender a sus promiscuas y ardientes hembras. Por ejemplo, el secreto de la hermandad entre las hembras de los bonobos reside en el sexo. El vínculo entre dos hembras que son muy amigas se estrecha y refuerza mediante frecuentes e intensas sesiones de fricción genitogenital.

La monogamia

La monogamia es la vinculación de un macho y de una hembra, que puede ser ocasional, por ejemplo durante una estación, o definitiva, para toda la vida. La monogamia es una relación que sirve para equiparar las inversiones parentales totales del macho y de la hembra. Esta vinculación permite una mayor colaboración entre los progenitores para la supervivencia y el cuidado de la prole, y tiene la desventaja de reducir la variabilidad genética. Tradicionalmente se ha considerado que la monogamia es muy frecuente entre las aves, que llegan a aparear-

se de por vida, como sucede con el albatros o el ánsar común. Se cree también que la monogamia es común entre algunos monos, como los titíes o los gibones. En el resto de los animales la monogamia es muy poco frecuente y entre los invertebrados es un hecho excepcional.

Los estudios más recientes, utilizando las modernas técnicas genéticas, indican que la verdadera monogamia es tan rara que se considera una de las conductas más desviadas de toda la biología. Antes de los análisis de ADN se creía que más del noventa por 100 de las especies de aves eran monógamas, al menos durante la estación de cría; y se pensaba también que muchas parejas lo eran de por vida. Pero los análisis más modernos han dado al traste con esa idea. La infidelidad entre esas parejas es mucho más común de lo que nadie esperaba. En el caso de las aves monógamas, en las que el macho y la hembra se aparean y colaboran amorosamente en la construcción del nido y se preocupan ambos de criar la nidada, la hembra se aparea muy a menudo con otros machos de la vecindad. La infidelidad en las parejas de aves monógamas es la norma; si no, ¿por qué siguen cantando los machos aún después de haberse emparejado?, ¿van en busca de nuevas aventuras? Algo parecido se descubrió cuando se analizó el ADN de algunas familias de gibones.

Desde el punto de vista del gen egoísta, la monogamia tiene poco valor evolutivo ya que reduce la variabilidad genética y sólo sería potenciada por la selección natural si los miembros de una pareja fiel tuvieran más descendencia que los individuos infieles, lo cual no suele ser habitual. Centrándonos en nuestra propia evolución, es muy improbable que nuestros ancestros fueran monógamos estrictos. Otra hipótesis que apoya el interés evolutivo de la monogamia es la «Teoría de la buena esposa». Según Olivia Judson, las oportunidades que tienen otros machos de buscar otras parejas se ven restringidas por la virtud de las propias hembras. Los pájaros «hembrariegos» no

conseguirían encontrar amantes porque todas las hembras son obsesivamente fieles a su pareja por miedo a perder su ayuda en el cuidado de los polluelos. Es decir, la monogamia sería una estrategia que las hembras imponen a los machos. Otra posibilidad para la monogamia, como estrategia evolutiva, podría darse en aquellas especies en las que las hembras fueran pocas y dispersas. En este caso el macho que dé con una hembra y consiga conquistarla con su cortejo hará bien en quedarse con ella, y así mantendrá alejados a sus competidores. En esas condiciones, el ir de galanteo obliga a un viaje largo y peligroso, así que es mejor quedarse en casa. Si el macho colabora con la hembra en el cuidado de la prole y ella saca provecho de vivir con el macho, no lo echará a picotazos del nido.

El dimorfismo sexual y la vinculación parental

¿Cómo vivían los australopitecinos? ¿Formaba parte Lucy de un harén dominado por un macho tiránico? ¿Vivía dentro de un grupo de machos y hembras emparentados? ¿Formaba pareja con un único macho que la cuidaba y la protegía? ¿Es posible obtener estos datos de una forma objetiva?

La psicología no fosiliza, por eso es imposible obtener pruebas directas que nos permitan conocer qué tipo de vinculaciones sexuales establecían nuestros ancestros hace millones de años. Pero de las proporciones de los esqueletos y algunas otras diferencias entre los machos y las hembras (dimorfismo sexual) se pueden obtener algunas conclusiones significativas. La aplicación de nuevas técnicas para el análisis de las variaciones morfométricas, en el contexto del estudio del comportamiento de especies vivientes, nos proporciona perspectivas esenciales sobre la conducta de especies extintas, como nuestros antecesores.

El dimorfismo de la masa corporal varía mucho entre las especies de primates presentes y pasadas. Los gorilas muestran un gran dimorfismo en la masa esquelética y en el tamaño corporal; el macho es más del doble de grande que la hembra y tiene unos caninos largos. Las especies dimórficas de primates, como el gorila, son características de las especies poligínicas. Los machos deben desarrollar una gran corpulencia y poderosas defensas para competir con otros machos e impedirles el acceso a su harén. En los machos poligínicos no existe riesgo de competencia espermática con otros machos y suelen tener los testículos pequeños en relación con su tamaño corporal, como es el caso del gorila. A lo largo de millones de años de evolución se fueron seleccionando los machos cada vez mayores, porque eran los que más se apareaban y por lo tanto los que transmitían sus genes.

Los chimpancés exhiben un escaso dimorfismo en el esqueleto, y el macho suele tener un tamaño apenas un quince por 100 mayor que el de la hembra. Esto refleja sus vinculaciones poliginándricas, en las que los machos tienen acceso a todas las hembras y apenas hay competencia entre ellos. Realmente en los chimpancés no hay presión selectiva para que los machos sean grandes; ser grande dificulta el trepar a los árboles y precisa mayor cantidad de alimento. Para un chimpancé lo mejor es ser un poco más corpulento que la hembra, sólo lo justo, ni más ni menos, y usar la astucia más que la fuerza. Los chimpancés machos se alían entre ellos para cazar o defender el territorio y no es cuestión de matarse o de herirse unos a otros. La competencia entre los machos se dirime dentro de la vagina de la hembra en forma de competencia espermática; al fin y al cabo todo este complejo entramado de relaciones y peleas tiene como objetivo conseguir que un solo espermatozoide logre fecundar un óvulo: los chimpancés machos tienen enormes testículos (dieciséis veces mayor que los del gorila en proporción al peso corpo-

ral) y un gran vigor sexual (sus relaciones sexuales son cien veces más frecuentes que las de un gorila macho).

En las especies monógamas apenas hay diferencias de tamaño entre machos y hembras, lo que se corresponde con la ausencia de competencia entre machos, y los testículos tienen un tamaño proporcional intermedio entre el gorila y el chimpancé.

¿Cuál era el dimorfismo sexual de los homínidos? P. L. Reno ha estudiado, recientemente, con métodos novedosos, una amplia muestra de restos fósiles de *Australopithecus afarensis*. Las osamentas pertenecían a varios individuos, muertos simultáneamente, en un único suceso catastrófico, hace algo más de tres millones de años. Este investigador ha mostrado que el dimorfismo sexual de Lucy y su gente era escaso, parecido al de los chimpancés actuales y al de los seres humanos. Estos resultados sugieren que nuestros antecesores mostraban pocas diferencias de tamaño entre machos y hembras y, por lo tanto, mantenían vinculaciones sexuales con escasa competencia entre los machos por conseguir la aceptación sexual de las hembras. La comparación de la masa corporal en homínidos fósiles que pertenecen a diferentes épocas revela que, en general, los niveles de dimorfismo han ido reduciéndose a lo largo de nuestra evolución desde que apareció el género *Homo*, es decir, desde hace dos millones de años, hasta el presente. Esto indica un cambio progresivo en los modelos de vinculación sexual y de relación parental hacia modelos de menos competencia entre machos; una senda hacia la monogamia.

Probablemente nuestros ancestros vivían en grupos poliginándricos integrados por grupos de parientes muy cooperativos. Dentro de estos clanes podrían formarse emparejamientos que encadenaban los machos a su compañera durante una buena parte de su vida reproductiva, sin desdeñar que ellas fueran algo promiscuas. Para las hembras, el principal problema a la hora de emparejarse sería obtener un buen esperma, con bue-

nos genes, de un macho de alta calidad, que colaborase con ella en el cuidado de las crías. No debía de existir una gran competencia espermática, como indica el tamaño relativo del testículo humano, intermedio entre la escasez del gorila y la desmesura del chimpancé.

La ovulación silenciosa

Todos los mamíferos (y muchos otros animales sexuados), por una mera razón de eficacia y ahorro, restringen a unos días concretos y convenientes el periodo de fertilidad y de procreación (el celo o *estro*). El resto del año lo dedican a la alimentación, la lactancia y al cuidado de las crías. Con este fin, las hembras se dotan de unos mecanismos avisadores, que anuncian, a los cuatro vientos y con claridad meridiana, la breve disponibilidad para el acoplamiento sexual y para la procreación.

Cuando llega el momento del celo, las hormonas de la hipófisis, las gonadotropinas, estimulan el desarrollo del folículo ovárico, el cual, además de albergar el óvulo, produce los estrógenos, que son las hormonas responsables de la aparición de todos los signos indicadores del celo: signos visuales, sonoros, olfativos, de fenómenos vasculares de vasodilatación genital, así como de un cambio del comportamiento de las hembras hacia los machos.

El periodo de fertilidad de las hembras de los actuales primates se anuncia de manera escandalosa mediante un despliegue de colores y tumefacciones en los genitales externos. Además, las glándulas existentes en la región genital secretan sustancias olorosas cargadas de feromonas, que son hormonas que estimulan la atracción sexual.

Este alborozo hormonal produce efectos extraordinarios en el macho, cuya respuesta es inmediata y consecuente con la de-

tección de una hembra disponible. Es también una respuesta de tipo neurológico y endocrino. En los machos, al detectar el periodo fértil de la hembra, se estimulan los centros cerebrales correspondientes y se desencadena toda una serie compleja de acciones de cortejo y de lucha ritual, para lograr ser los afortunados elegidos por la hembra y depositar en su vagina los genes que transportan sus espermatozoides. Las hembras de los primates superiores (gorila, chimpancé y orangután) tienen un periodo mensual de celo que dura unos diez días y que coincide con la ovulación.

Fuera de la época de celo el interés sexual de la mayor parte de los animales queda en suspenso. No existe competición, ni luchas, ni rivalidades sexuales. En resumen, toda preocupación sexual se elimina de la vida ordinaria del animal una vez que termina ese periodo crítico y receptivo de las hembras.

Pero en las hembras de la especie humana estos procesos ocurren de forma muy diferente. Es posible que en Lucy ya estuvieran desarrolladas estas peculiaridades de la sexualidad de la mujer. En primer lugar hay que destacar que su capacidad de ser fecundadas no se circunscribe a un breve periodo fértil que tiene lugar una o dos veces al año, sino que son fértiles durante algunos días de cada ciclo menstrual, a lo largo de todo el año. Esa característica es compartida por las hembras del chimpancé; pero lo que da un carácter extraordinario a la sexualidad de la hembra de la especie humana con respecto a cualquier otra, incluso a las hembras de los primates antropomorfos, es la ocultación de la fertilidad. En las hembras de los homínidos, como en la mujer de hoy, este periodo de fertilidad, es decir, la ovulación, no se anunciaba ostensiblemente, de modo que este momento esencial para la reproducción pasaba desapercibido. Los signos avisadores de la ovulación de las hembras de los homínidos, dependientes del ciclo hormonal, fueron perdiendo fuerza a lo largo de la evolución. No se sabe cuáles fueron las

razones evolutivas para que los genitales de las hembras de los homínidos perdieran su capacidad de hincharse de forma escandalosa durante los días de receptividad sexual, como ocurre en las monas. Podría especularse que esta ausencia pudo venir condicionada por el desplazamiento ventral de la vagina a causa de la bipedestación. En esta posición anatómica unas vulvas hinchadas y húmedas dificultarían mucho el caminar o el sentarse; cosa que no sucede en las otras hembras de primates que poseen una apertura vaginal claramente trasera.

Este segundo aspecto de la sexualidad de nuestra especie planteaba hace tres millones de años un grave conflicto. Si Lucy y sus compañeras australopitecinas no evidenciaban con señales claras su fertilidad corrían el peligro de no ser fecundadas en el momento idóneo, es decir, durante los días fértiles del ciclo, lo que hubiera producido una reducción de la tasa de reproducción y en consecuencia la extinción de la especie en pocas generaciones. Pero cuando el macho no tuvo forma de saber en qué momento una hembra estaba ovulando, para así fecundarla en el instante de máxima fertilidad, ¿cómo resolvió la evolución este grave problema?

Resulta evidente que si no se puede saber en qué momento es fértil una hembra, la única manera de fecundarla es copular diariamente con ella, con la esperanza de dar con el día bueno. Esta lógica fracasa si consideramos que todas las hembras, como regla zoológica general, rechazan al macho fuera de los periodos de celo. Por esto se sugiere que la evolución seleccionó a aquellas hembras en las que, por algunas mutaciones que tuvieron lugar posiblemente en la esfera endocrina o en los centros nerviosos hipotalámicos y límbicos, desarrollaron una tendencia a aceptar al macho en cualquier día o momento del año. En compensación, las hembras de los homínidos desarrollaron otros signos de receptividad sexual, sin depender del momento del ciclo hormonal o del de la ovulación, más bien

determinados por su estado de excitación: la tumefacción genital, la secreción acuosa por las paredes de la vagina y la hinchazón ligera de los labios vulvares o de los pezones. Todos estos cambios evolutivos tuvieron como consecuencia acercar más los sexos, igualando los comportamientos sexuales del macho y de la hembra entre nuestros antecesores. Circunstancia felizmente heredada por *Homo sapiens*.

Y así adquirimos otra de las rarezas de la especie humana: la de mantener relaciones sexuales al margen de la reproducción. Se ha llegado a decir que la disponibilidad sexual ininterrumpida durante todo el año fue una auténtica revolución biológica: la más asombrosa innovación que tuvo lugar desde la aparición del sexo en la evolución biológica global. Fue otro hito achacable a la hembra de alguna de las especies de homínidos y cuyo mérito hemos adjudicado, con exceso de libertad, a Lucy y a sus parientes. Pero es seguro que en algún estadio temprano de la evolución humana tuvo que suceder la adquisición de este peculiar modelo de comportamiento. Mediante esta función social de la sexualidad se garantizaba la reproducción y se creaban así las bases para el desarrollo de lo que luego, tras muchos cientos de miles de años de evolución, constituiría la unidad familiar.

La menstruación

Otra de las peculiaridades misteriosas de la hembra de la especie humana es la menstruación. La pérdida de la mucosa del útero, que se acompaña de un desperdicio copioso de sangre, es un fenómeno raro entre los mamíferos. ¿Qué importancia pudo tener esta peculiaridad para la evolución de nuestra especie? ¿En qué etapa de nuestro recorrido evolutivo se incorporó esta novedad fisiológica? Es muy difícil responder a estas cues-

tiones, pero vamos a analizar las teorías propuestas al respecto.

En la mayor parte de las hembras de todos los mamíferos, periódicamente se produce una proliferación y una regresión cíclica del endometrio, que es la mucosa que tapiza la pared interna del útero. Durante unos días, la mucosa uterina crece, se desarrollan glándulas en ella y se vascularíza mediante una densa red de vasos sanguíneos. Estas transformaciones van encaminadas a crear el ambiente idóneo que permita la implantación de un posible óvulo fecundado. Todo este proceso está controlado por las hormonas sexuales femeninas: los estrógenos y la progesterona. Si sucede la fecundación, el óvulo fecundado se ancla en la mucosa del útero y empieza a fabricar sus propias hormonas, la gonadotrofina coriónica (HCG), que mantienen la mucosa uterina muy desarrollada para permitir una nutrición adecuada para el nuevo ser (ésta es la hormona que se detecta en las pruebas de embarazo). Pero si no hay fecundación, el óvulo no se implanta, no fabrica hormonas, y los estrógenos y la progesterona de la hembra reducen bruscamente sus niveles en sangre y, ante esta súbita señal, la mucosa uterina comienza a atrofiarse y poco a poco se va eliminando. En los mamíferos, esta regresión va acompañada de la pérdida de una pequeña cantidad de sangre que sale al exterior, aunque es inapreciable en casi todas las especies. Se evita un desperdicio de nutrientes y la mucosa uterina que se desecha se reabsorbe en su mayor parte; por ello no se observa la hemorragia profusa que es habitual en la especie humana.

Se ha dicho que el fenómeno de la menstruación abundante surgió durante la evolución de la especie humana, como mecanismo para eliminar embriones defectuosos o mal implantados antes de que el embarazo progresase. También se ha propuesto que la menstruación es un método para eliminar embriones normales, bien implantados, cuando sobrevenían condiciones sociales o ecológicas que no eran las adecuadas para un emba-

razo; sería, por tanto, un mecanismo de «aborto adaptativo». Otros estudios han sugerido que la sangre cayendo a lo largo de las piernas de una hembra joven era una señal que proporcionaba información al resto de los miembros del grupo de homínidos acerca del debut a la vida fértil de esa hembra.

De cualquier forma, las hembras de los homínidos, como bien pudiera ser el caso de la hembra de *Australopithecus afarensis*, debían de tener muy pocas menstruaciones, ya que la hembra pasaba la mayor parte de su vida reproductora o preñada o lactando; esto mismo sucede en las sociedades cazadoras y recolectoras que siguen viviendo en las mismas condiciones que nuestros antecesores prehistóricos. Según los datos obtenidos acerca de ciertas culturas primitivas contemporáneas, cada hembra pasa, por término medio, quince de sus años reproductivos amamantando a las crías, y cuatro años embarazada. Es decir, tienen ciclos normales solamente durante un total de cuatro años en toda su vida fértil. En realidad, el tener muchas menstruaciones seguidas, a lo largo de muchos años, es un fenómeno moderno. El uso de eficaces métodos anticonceptivos permite que, actualmente, algunas mujeres pasen más de treinta y cinco años con ciclos menstruales ininterrumpidos.

Los celos

Ya se ha comentado que el comportamiento de todos los animales (*Homo sapiens sapiens* incluido) está regido por los genes, aunque también se modula por la experiencia y las interacciones con el ambiente (y en la especie humana mediante la cultura y la educación). Si los cambios anatómicos y fisiológicos ocurridos a lo largo de la evolución fueron posibles a causa de cambios en el genoma, también debieron de acompañarse

de cambios en los genes que controlan los patrones de conducta sexual.

La disponibilidad sexual permanente de las hembras de los homínidos y la ocultación de su periodo de fertilidad obligó a ciertos ajustes en algunos aspectos relacionados con el egoísmo genético. Ya sabemos que la tiranía de los genes obliga a un organismo a cometer cualquier tipo de crueldad (infanticidio de una cría extraña) o a protagonizar el acto más heroico (salvar de morirse ahogado a un hijo) siempre que se trate de favorecer la transmisión y la dispersión de los propios genes. En cierta medida, somos los esclavos de nuestro propio ADN, que nos utiliza en su provecho e incluso sacrifica nuestros cuerpos si es necesario: es el envase desechable que contiene los genes.

Esta fuerza del egoísmo de los genes se plasmó a lo largo de nuestra evolución en algunas novedades incorporadas por las hembras de los homínidos. Por ejemplo, si un macho de *Australopithecus afarensis* no tenía forma de saber si su hembra estaba en periodo fértil, ¿cómo garantizaba que los hijos que tuviera fueran suyos? ¿Cómo evitar gastar energías en proteger y alimentar crías que pudieran aportar genes extraños? Sólo había una forma de garantizar que las crías de su hembra iban a portar sus genes: copular a diario con ella e impedir que otros machos tuvieran acceso a ella, sometiéndola a una vigilancia permanente. Esto ocasionó que a lo largo de la evolución se estabilizaran las parejas e, inevitablemente, aparecieran los celos (efecto colateral, que se diría hoy).

Un criterio de selección para el macho australopitecino sería la apariencia de fidelidad de la hembra. Vigilaría a su hembra y sufriría ansiedad cuando se encontrara lejos de ella. Es posible que los celos, y la necesidad de criar hijos que portarán sus propios genes, no los de un extraño, forzará al macho a aumentar la cantidad de cópulas; este proceder aumentaría la confianza del macho en su paternidad. Estos comportamientos no son

exclusivos de nuestra especie. El macho de la golondrina ribereña, aparentemente una especie monógama, persigue a su hembra a todas partes durante la semana que precede a la puesta de los huevos. Pero deja de hacerlo tras la puesta, para dedicarse a perseguir a las hembras de otros machos, los cuales, por supuesto, impiden el acercamiento a su pareja de cualquier intruso.

Pero los celos no son exclusivos del macho. También tienen una razón evolutiva en la hembra. Por un lado, las hembras obtendrían beneficios de supervivencia para ellas y para sus crías eligiendo un macho que las atendiera y cuidara, que les ofreciera regalos de provisiones, ya que ello aliviaría la carga nutricional y energética que conlleva la reproducción y el cuidado de una prole numerosa. Por otra parte, la hembra deambularía segura por su territorio si un macho la defendiera de los depredadores o de otros machos (peligro de infanticidio de su cría). Por eso la hembra tendería a retener a ese macho protector evitando que pudiera aparearse con otra hembra, lo que la pondría en riesgo de ser abandonada y acarrearía un grave riesgo para su supervivencia y la de sus crías.

El incesto

Ya hemos reiterado que la variabilidad genética es uno de los factores fundamentales de la reproducción sexual. Los organismos que se reproducen sexualmente son diploides, es decir, que sus células albergan un juego doble de genes: para cada función, para cada proteína, para cada rasgo tienen dos genes (alelos). Una de las copias de los genes la reciben del padre, la otra de la madre. Sólo una copia predomina; la otra copia asume un papel segundario. A la copia de un determinado gen que es más activa en un determinado individuo se la llama gen do-

minante. A la copia que queda en un segundo plano se la llama gen recesivo. Los efectos de un gen recesivo no se manifiestan a no ser que un individuo reciba dos copias de la misma variedad de este gen.

Con frecuencia estos genes recesivos son defectuosos. Las órdenes que producen son erróneas y pueden ocasionar el desarrollo de enfermedades; recibir dos copias de alguno de estos genes recesivos puede ser desastroso y ocasionar la muerte o una enfermedad grave. Como los miembros de una misma familia son más semejantes genéticamente que los que no están emparentados, el sexo en familia incrementa la posibilidad de juntar dos copias de un gen recesivo pernicioso. Cuanto más cercanos sean los parientes, mayor es el peligro. Existen pruebas muy claras de este riesgo en la consanguinidad y en el desarrollo de enfermedades entre los miembros de algunas dinastías monárquicas.

Los grupos con fuerte tendencia a la endogamia, como ocurre en la poliginandria, corren el riesgo de perder la heterocigosis, de que no se renueve el acervo genético con alelos frescos. Esta ausencia de diversidad genética reduce las posibilidades de desarrollar adaptaciones novedosas ante las fluctuaciones del entorno. A lo largo de la evolución se han desarrollado diferentes estrategias para evitar la endogamia, favoreciéndose las relaciones sexuales entre individuos genéticamente diferentes y limitándose las relaciones entre individuos con parentesco genético muy próximo.

Uno de los mecanismos más sorprendentes de protección contra el incesto es la detección de las semejanzas inmunológicas, como indicativo de una mayor coincidencia genética. Los agentes implicados en estos mecanismos son los llamados antígenos del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC), que son los mismos que desencadenan el rechazo de los trasplantes y nos defienden de los microbios, de las prótesis que nos colo-

can indebidamente o de cualquier otro agente extraño que intente penetrar en el organismo. Los MHC son diferentes para cada persona y cuanta más distancia genética exista entre dos individuos, mayor diferencia habrá en sus MHC.

Estos antígenos son capaces de detectar lo extraño y reconocer lo propio, por eso la selección natural los ha utilizado como documento de identidad personal para evitar apareamientos incestuosos y que se junten genes inadecuados. Y para ello ha recurrido a un método ingenioso: los MHC confieren a cada animal un olor único, irrepetible. Los ratones son capaces de distinguir por el olor a sus congéneres que tengan los genes de MHC completamente diferentes a los suyos, lo que perciben olisqueando la orina.

En el ser humano se ha demostrado que los hombres y las mujeres prefieren más o les desagrada menos el olor corporal de los miembros del sexo opuesto, genéticamente distintos a ellos. Se han realizado unos curiosos experimentos con el sudor humano. A las personas participantes se les daba a oler las camisetas que habían llevado puestas durante un par de días miembros del sexo opuesto. El resultado fue rotundo: las personas preferían el olor de aquellos individuos del otro sexo cuyo MHC era más diferente del propio.

Se da el caso, sin que se sepa cuál es el mecanismo, de que se produce una tasa mayor de abortos espontáneos en las parejas con ciertos genes iguales del complejo MHC. En algunas mujeres que abortan reiteradamente fetos sanos en apariencia, la causa puede deberse a este mecanismo de rechazo.

Otro de los mecanismos para evitar el incesto se basa en una aversión natural a mantener relaciones sexuales con individuos con los que se ha compartido la infancia, sean o no parientes. En los mecanismos implicados intervienen fenómenos parecidos al llamado *imprinting*, que descubrió el etólogo K. Lorentz en el siglo pasado. El término se refiere a las modificaciones

que ejercen las imágenes, los sonidos y los olores que se perciben en los primeros meses o años de la vida de cualquier animal sobre determinados circuitos cerebrales. Hay numerosos ejemplos de este *imprinting* negativo respecto al deseo sexual hacia aquéllos con los que hemos convivido en los primeros años de vida. Por ejemplo, apenas se han producido emparejamientos entre los niños que, procedentes de distintas familias, se criaban juntos desde muy pequeños en los kibutz judíos.

Es como si la selección natural hubiera programado diferentes mecanismos para favorecer la exogamia. En algunas especies los machos jóvenes abandonan el grupo donde han nacido y vagan en solitario hasta que encuentran otra manada a la que incorporarse; tal es el caso de los leones. En otras especies, como la de los chimpancés, lo que se produce es la migración de las hembras jóvenes.

Es curioso que para la teología cristiana todos los seres humanos tenemos un origen incestuoso: descendemos del apareamiento de los hijos de Adán y Eva. Y es posible que para la biología también procedamos del incesto. Los homínidos más primitivos, como Lucy, debían de vivir en el seno de grupos formados en su mayor parte por familiares y, por tanto, con un elevado grado de endogamia. Más adelante, en nuestra evolución, se iban a reforzar los mecanismos que hacían que los homínidos prefirieran el sexo con extraños al sexo con miembros de la propia familia, para lograr así una descendencia genéticamente más sana.

Bibliografía

Haqq, C. M., y P. K. Donahoe, «Regulation of sexual dimorphism in mammals», *Physiological Reviews*, 78, 1998, pp. 1-33.

Judson, O., *Consultorio sexual para todas las especies*, Crítica, Barcelona, 2004.

Larsen, C. S., «Equality for the sexes in human evolution? Early hominid sexual dimorphism and implications for mating systems and social behaviour», *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 100, 2003, pp. 9.103-9.104.

Lewin, R., y R. A. Foley, *Principles of Human Evolution*, Blackwell Science, Oxford, 2004.

Lucas Matéu, M., «Invitación a una sexología evolutiva», *Revista de sexología*, 1991, número extra, pp. 46-47.

Reno, P. L., R. S. Meindl *et al.*, «Sexual dimorphism in Australopithecus afarensis was similar to that of modern humans», *Proceeding of the National Academy of Sciences USA*, 100, 2003, pp. 9.404-9.409.

Ridley, M., *¿Qué nos hace humanos?*, Taurus, Madrid, 2004

En Internet:

Antropología social, cultural y biológica, en: *http://www.monografias.com/trabajos7/ancu/ancu.shtml*

Wullstein, K. y R. Eff: autores de una página muy completa sobre primates, con abundante iconografía: *http://www.mc.maricopa.edu/~reffland/anthropology/anthro2003/origins/primates/index.html*

7

La hembra nutricia

El comienzo de las glaciaciones

Desde la época en que Lucy y sus parientes correteaban por las praderas y trepaban a los árboles en los escasos bosques del este de África, el tiempo ha seguido transcurriendo a zancadas de miles de años. Se acumularon los siglos sobre los siglos, sucedieron milenios a otros milenios y centenas de miles de años siguieron a otras centenas de miles de años más; han pasado ya un millón y medio de años. Son magnitudes temporales que no pueden comprender nuestros cerebros. Sólo debemos considerar que hemos dado un gran salto y que ahora nos encontramos en el año 1.500.000 antes de nuestra era, y en el mismo escenario de siempre, en el este de África.

Al iniciarse la época denominada Pleistoceno, hace un millón ochocientos mil años, el mundo entró en un periodo aún más frío, en el que comenzaban a sucederse una serie de periodos glaciales, separados por fases interglaciales más o menos largas. En los polos, los periodos glaciales ocasionaron la acumulación de espesas capas de hielo a lo largo de los miles de años en que persistió el frío más intenso; luego, en los miles de años si-

guientes, que coincidieron con una fase más cálida, los hielos remitieron algo, aunque no desaparecieron por completo. El secuestro de grandes cantidades de agua en forma de hielo redujo la magnitud del agua disponible para circular en la atmósfera; esto se plasmó en una sequía generalizada. En las latitudes más bajas, como el este de África, la mayor aridez del clima propició que se extendiera un tipo de vegetación hasta entonces desconocido, propio de las zonas desérticas. Esta vegetación colonizó gran parte de las áreas que, cuando Lucy correteaba por allí, ocupaban chaparrales y matorrales espinosos. También se incrementaron las sabanas de pastos, casi desprovistas de árboles, semejantes a nuestras praderas, estepas o pampas.

A lo largo del millón y medio de años transcurridos desde que Lucy se paseaba por África habían surgido numerosas especies de homínidos, algunas de las cuales prosperaron durante unos cientos de miles de años y luego desaparecieron. En la zona de la cuenca del río Omo se han encontrado los fósiles del primer representante del género *Homo*: *Homo habilis*, un antecesor mucho más próximo a nosotros, con una capacidad craneana entre seiscientos y ochocientos centímetros cúbicos y que ya era capaz de fabricar utensilios de piedra, aunque muy toscos.

Es conveniente tener en cuenta que la aparición de una nueva especie no tiene por qué coincidir necesariamente con la extinción de la precedente. En realidad, muchas de estas especies llegaron a convivir durante miles de años. Se podían dar dos situaciones: que las especies diferentes ocuparan distintos nichos ecológicos, y entonces se toleraban y no surgían conflictos, o que ocuparan el mismo nicho ecológico, y entonces ambas competían entre sí por los alimentos allí donde convivían, y la especie menos favorecida acababa por desaparecer. Una línea sí prosperó en la dirección adecuada y es ésa la que volvemos a encontrar ahora, en los mismos parajes por los que su antecesora Lucy se paseaba más de dos millones de años atrás.

Homo ergaster

El descendiente de Lucy al que nos referimos es *Homo ergaster*, cuyo representante fósil más característico es el llamado Joven de Turkana. El equipo de Richard Leakey descubrió este fósil durante el verano de 1984, en un yacimiento próximo a la orilla del lago Turkana, junto a la desembocadura del río Nariokotome, en Kenia. Se trata de un esqueleto casi completo de un muchacho, datado en un millón seiscientos mil años de antigüedad. Es uno de los esqueletos más completos de todo el registro humano fósil. De la cabeza sólo le faltan unos minúsculos fragmentos del cráneo y los maxilares. Conserva todos los dientes y tiene completas la columna vertebral y la caja torácica; muestra los huesos de los brazos y de las manos, la pelvis completa y los huesos de ambas piernas. Sólo se han perdido algunos huesos de los brazos, los pies y algunas vértebras cervicales. A partir de otros fósiles se ha podido ver que los individuos de la especie *Homo ergaster* poseían unos pies muy parecidos a los nuestros, con un empeine bien formado, y que su astrágalo, el hueso del pie que soporta todo el peso del cuerpo, era ya casi idéntico al nuestro. La proporción entre el tamaño relativo de los brazos y de las piernas era del setenta y cuatro por 100 en este fósil, una proporción plenamente humana. *Homo ergaster* debía de ser muy parecido a nosotros de cuello para abajo.

La capacidad craneana de aquel muchacho era de ochocientos cuarenta centímetros cúbicos, tenía una estatura de ciento sesenta y dos centímetros; aún no había perdido los caninos de leche y sus huesos no habían acabado de crecer del todo. De adulto su cerebro habría alcanzado casi los novecientos centímetros cúbicos y su estatura habría llegado a los ciento ochenta centímetros. A partir de otros fósiles se estima que la capaci-

dad craneana de *Homo ergaster* oscilaba entre ochocientos y mil centímetros cúbicos, prácticamente un sesenta o setenta por 100 de la nuestra. Su cara era también moderna: sus huesos nasales eran prominentes, ya no eran tan chatos como en el resto de primates, y, en general, el esqueleto facial era de apariencia más humana. En su dentadura se observa una reducción en el tamaño de los molares y premolares y de los caninos e incisivos. La mandíbula adoptaba una forma en «U», muy diferente a la forma en «V» del resto de los primates.

Con *Homo ergaster* se dobló el volumen cerebral con respecto a los *Australopithecus afarensis*, que poseían un cerebro de menos de medio litro de capacidad. *Homo ergaster* seguía siendo un ser débil, poseía un equipamiento sensorial poco adecuado para la vida a ras de tierra, su olfato era demasiado pobre, su oído no era lo bastante agudo, carecía de garras y de colmillos y su escasa fortaleza no le permitía competir con la mayor parte de los depredadores que poblaban su mismo hábitat; pero tenía algo de lo que los demás seres vivos carecían, incluidos los otros homínidos coetáneos: unos preciosos mil centímetros cúbicos de cerebro. Esta adaptación permitía algunas ventajas, como la inteligencia social y la manipulación intencional, es decir, la capacidad para dirigir los movimientos de sus manos hacia un fin específico establecido previamente. *Homo ergaster* pudo adaptarse y prosperar en un nicho ecológico particular porque estaba dotado del equipo mental adecuado para explotarlo.

Carnívoros a la fuerza

Hace un millón y medio de años, en el este africano, los bosques fueron quedando reducidos progresivamente a unas manchas de arbolado en las riberas de los ríos y de los lagos. Se pro-

dujo la expansión de las sabanas formadas por árboles aislados y matorrales, y se aceleró la reducción del bosque tropical. *Homo ergaster* había abandonado de manera definitiva los ecosistemas densamente arbolados y explotaba los recursos de los medios abiertos: las praderas.

Al irse modificando el medio y frente al avance de las sabanas herbáceas, nuestros antepasados se encontraron ante una difícil encrucijada: o se convertían en cazadores y carroñeros, como los carnívoros, o aprendían a comer hierba en grandes cantidades, como los herbívoros. La selección natural, actuando sobre el muestrario de cambios genéticos que se había ido produciendo, hizo la elección, y el resultado fue que a partir de *Homo ergaster* (posiblemente antes), por primera vez la carne, el pescado y las grasas animales pasaron a constituir una parte importante de la dieta de los homínidos.

Son numerosas las evidencias arqueológicas que muestran que estos antecesores nuestros consumían cantidades considerables de carne. Se han encontrado enormes acumulaciones de restos de animales en los lugares que habitaron: auténticos basureros prehistóricos. Muchos de estos huesos presentan las huellas de haber sido machacados para extraer el tuétano o raspados para arrancarles la carne pegada. Con los huesos aparecen mezclados los utensilios de piedra que utilizaron como rudimentaria cubertería. En ocasiones, mediante microscopia electrónica de barrido se ha podido demostrar que los huesos fueron alterados por los utensilios líticos que yacían al lado. La importancia de los vegetales en la alimentación de *Homo ergaster* se puede evaluar a partir de los que se han encontrado fósiles de semillas y de huesos de frutas.

La opción de incrementar el consumo de los alimentos de origen animal fue una consecuencia directa de la reducción de los alimentos nutritivos de origen vegetal. *Homo ergaster* necesitaba energía para sobrevivir en un ambiente tan duro; la

necesitaba para reproducirse, para evolucionar, y no la podía obtener de unos pocos vegetales fibrosos. Además, requería mucho esfuerzo buscar estos alimentos de origen vegetal, pues muchos de ellos debía desenterrarlos, ya que eran raíces, y tendría que comer en cantidades exageradas para lograr incorporar a su organismo todos los nutrientes necesarios, en especial las proteínas. La carne y la grasa de los animales terrestres o de los peces le proporcionaban los aminoácidos y vitaminas necesarios y aportaban una elevada densidad energética en un pequeño volumen de alimentos. Por ejemplo, el tuétano de un fémur de antílope contiene más energía que varios kilos de vegetales fibrosos, y es mucho más fácil de digerir.

Esta acertada estrategia dietética proporcionó la energía necesaria para que el cerebro se desarrollase y permitir aumentar el tamaño corporal sin perder capacidad de movimiento, ni de sociabilidad. Pero atrapar alimentos de origen animal es mucho más difícil que recolectar alimentos de origen vegetal. Las plantas, normalmente, no salen corriendo ni se defienden si alguien intenta comérselas, pero los animales (terrestres o acuáticos) no se dejan ser comidos así como así. Y nuestro antecesor, *Homo ergaster,* era un ser indefenso, sin garras ni colmillos, que corría a menos velocidad que muchos animales y que aún no tenía suficiente inteligencia para fabricar armas verdaderas y eficaces. En estas condiciones obtener alimento de origen animal era una tarea sumamente complicada. Esto se ha comprobado en el transcurso de algunos ejercicios militares: incluso hoy, con nuestra inteligencia, cuando se realizan pruebas de supervivencia dejando al soldado de tropas de élite en aislamiento, sin armas, en un bosque lleno de peces y de animales, se comprueba lo difícil que resulta al soldado atrapar alguna pieza para comer, sólo con la ayuda de sus manos y de sus piernas.

El mito del cazador

La expresión «hombre cazador» halaga los oídos masculinos, llena su imaginación con las portentosas hazañas del macho. Numerosas películas y novelas (incluso algún libro pretendidamente científico) exaltan las grandes hazañas del antropoide macho, que regresa de su jornada de caza al cubil en el que aguarda su hembra rodeada de una caterva de crías hambrientas y temerosas. El cuadro muestra al fornido hombretón simiesco, que regresa sonriente, con una gacela aún sangrante al hombro, que entrega a la familia. Todos ellos, que aguardan impacientes la llegada del cazador, agradecen con gruñidos la comida mientras devoran la presa. El cazador reposa feliz, agasajado por todos los miembros de su clan.

Pero esta escena es pura invención, muy alejada de la realidad. Se tienen datos que sugieren que si existe algún animal al que pudieran parecerse nuestros antepasados son el buitre o la hiena, más que el tigre o el león. Pero determinados arraigos culturales no pueden aceptar esta realidad: todos los escudos nobiliarios y los emblemas militares lucen un león o un águila; ninguno, un buitre con el cuello pelado o una hiena.

La hipótesis del cazador asume que *Homo ergaster* encontraba caza abundante siempre que salía en su búsqueda. Pero hoy sabemos que esto no era así. Hace un millón de años, el carroñeo era mucho más frecuente que la caza. Para aquellos seres indefensos resultaba una proeza extraordinaria cazar una pieza incluso de mediano tamaño. Podemos suponer, sobre los datos disponibles, que los machos, en pequeños grupos de tres o cuatro individuos, recorrían largas distancias en las llanuras ardientes buscando cualquier señal que les permitiera encontrar carroña aún comestible, no enteramente devorada ni excesivamente putrefacta. Las hembras permanecían por los alrede-

dores del bosquecillo que habitaba la tribu. Se dedicaban a recolectar frutas, bulbos, tubérculos, insectos o reptiles, sin alejarse demasiado para poder refugiarse en los árboles ante el ataque de alguna fiera. Si como era habitual el bosquecillo se encontraba en las proximidades de algún río o lago, de los muchos que abundaban en el este de África, o se acercaban a la orilla del mar, buscarían moluscos y tratarían de atrapar algunos peces.

Por lo tanto, todo sugiere que, dadas sus limitaciones físicas, *Homo ergaster* dependía del carroñeo para alimentarse de animales grandes y cazaba sólo los de menor tamaño, incluidos roedores y reptiles. El carroñeo revestía especial importancia durante la estación seca, que era cuando más escaseaban los alimentos vegetales. Por eso el hábito del carroñeo podría haber convertido la estación seca en la época de la abundancia. Era entonces cuando los felinos cazaban más animales, y hasta el más marginal de los despojos que los leones abandonaban suponía para *Homo ergaster* una fuente valiosa de alimento. Sólo era necesario que estos despojos conservasen el tuétano y la masa encefálica, alimentos que proporcionan bastantes más calorías de las que necesita diariamente un adulto. Y sólo requería el pequeño esfuerzo de machacar durante media hora los huesos con una piedra.

La actividad de carroñeo consumía menos energía que la caza y comportaba menos riesgos. Se aprovechaban de las carcasas que los leones dejaban descarnadas o de los restos que almacenaban los leopardos en los árboles. Sin embargo, tampoco era una actividad fácil para un primate lento, de poca talla y de dientes romos. Disponemos de numerosas pruebas de este aprovechamiento de los despojos de los carnívoros. Al analizar mediante microscopia de barrido los huesos encontrados en algunos yacimientos al lado de herramientas líticas de hace más de un millón de años, los restos muestran que las muescas de

corte de las lascas de piedra están por encima de las marcas dejadas por los dientes de los carnívoros y de los carroñeros. Recogían los huesos para extraer la médula y el encéfalo y para aprovechar algo de la carne que aún quedara pegada al hueso. La médula ósea y el encéfalo son muy ricos en proteínas y en grasas, son alimentos de elevada densidad energética y contienen abundantes minerales y algunas vitaminas. Además, el cierre hermético del hueso servía de «lata de conserva» que protegía el valioso contenido que se degradaba rápidamente bajo los calores de la estepa.

La caza debía de ser muy peligrosa, sobre todo en las llanuras abiertas: los herbívoros corren y saben defenderse. Si se tenía la enorme fortuna de abatir una presa de cierto tamaño, ello representaría un hecho muy llamativo en plena pradera y, además, llevaría mucho tiempo trocearla y consumirla; pronto llegarían los buitres, y tras ellos las hienas e incluso los leones. Los homínidos, armados sólo con piedras, sin garras ni colmillos, estaban indefensos frente a tanto competidor.

El disponer de utensilios fue un gran logro y un éxito para la supervivencia, ya que les permitía aprovechar más rápidamente la carroña, y facilitaba la tarea de trocear con rapidez los despojos de un animal grande. Podemos imaginar la dificultad que entrañaría el desgarrar la gruesa piel peluda de algún herbívoro sin cuchillos, sólo con el borde afilado de una lasca de piedra. La creación de los útiles líticos estuvo más al servicio del carroñeo que de la caza; más que armas eran cubiertos. De esta forma el carroñeo también ofrecía estímulos para el desarrollo de las cualidades más propiamente humanas: la tecnología.

Nuestros antepasados tuvieron que aprender a interpretar las diversas marcas que señalaban la presencia de un cuerpo muerto entre las altas hierbas: el vuelo bajo de los buitres, la risa de las hienas o el rebuzno agónico de una cebra atacada por los felinos. Necesitaron desarrollar la capacidad de organiza-

ción cooperativa para buscar, preparar y repartir la comida. Nuestros antepasados encontrarían en un sitio la carroña y en otro, a veces muy lejos, las piedras aptas para ser transformadas en utensilios de carnicero. Por ello, estas actividades requerían gran capacidad de organización y de previsión, de paciente seguimiento mental de los detalles, y de una gran cooperación social.

Vemos que en la actualidad existen claras objeciones respecto a la hipótesis tradicional y romántica del macho cazador. El sexo llamado «fuerte» desde luego lo era desde el punto de vista de la masa muscular y del tamaño corporal, pero no necesariamente en lo referente a su aportación de calorías y de nutrientes al resto del grupo. Los miembros, en teoría, más débiles del grupo, las hembras, son los que suelen alimentar a todos en las sociedades de cazadores recolectores que viven hoy en condiciones muy similares a las de nuestros ancestros. En estas sociedades, que habitan actualmente determinadas zonas de nuestro planeta, el hombre caza o busca carroña, pero la mujer es quien proporciona la mayor parte de los alimentos al grupo mediante la recogida de plantas, de insectos y de pequeños animales.

Es seguro que, con frecuencia, la escena real que antes hemos esbozado seguiría un guión diferente: los machos cazadores regresan con las manos vacías después de varios días de recorrer un extenso territorio; no han cazado nada, ni siquiera han encontrado carroña, y tienen que saciar su hambre con los vegetales, los insectos, las lombrices, los moluscos, los peces, los huevos o la miel que han recogido las hembras y las crías en su ausencia. Esto sugiere que, más que el macho cazador, lo importante para la supervivencia era la hembra recolectora.

Numerosos datos paleontológicos y antropológicos muestran que, en los últimos millones de años, han sido las hembras de las diferentes especies de homínidos las que han tenido la

responsabilidad de la alimentación de la familia: ya sea rebuscando entre la escasez de los matorrales de la orilla de un río, hace un millón de años, o entre la abundancia de los anaqueles de un hipermercado, hoy.

El éxodo de *Homo ergaster*

Homo ergaster, dotado de un cerebro de casi un litro, capaz de fabricar utensilios para aprovechar las presas que lograba encontrar o capturar, comenzó a abandonar África y a colonizar Asia y Europa.

Salir del continente africano suponía, hace un millón y medio de años, una ardua empresa. El único punto por el que África estaba unida al resto del mundo era, como hoy, por el istmo de Suez. Hacia el sur, una profunda hendidura separa África de la península arábiga: el mar Rojo. En el extremo sur de este mar existe un estrecho que actualmente tiene veinticinco kilómetros de anchura y ciento treinta y siete metros de profundidad: es el estrecho de Bab el Mandeb, plagado de arrecifes e islotes. Hace dos millones de años este estrecho medía pocos kilómetros de anchura y el paso desde África a Arabia era posible a través de los numerosos islotes y los arrecifes de coral que emergían a poca distancia unos de otros. La mayor parte de los autores no creen que el paso del noroeste, los catorce kilómetros del estrecho de Gibraltar, fuera una opción factible en aquellos tiempos y para aquellos antecesores nuestros.

Posiblemente los homínidos que salieron por el paso del sur siguieron la costa hasta colonizar la India y todo el sureste asiático. Esta puerta se fue cerrando con el tiempo ya que la península arábiga comenzó a alejarse de África a un ritmo de quince milímetros anuales, hasta que se ensanchó tanto que quedó bloqueada por kilómetros de agua. Los que optaron por salir de

África por el paso del norte, llegaron a lo que hoy se conoce como el Creciente Fértil, a Turquía y de allí a Dmanisi, en Georgia, donde se han encontrado numerosos restos de su presencia.

Estos homínidos no eran exploradores o aventureros, sino simples nómadas que caminaban al azar siguiendo a sus presas, o caminando por la orilla del mar, buscando alimento. A veces se aposentaban en una región en la que abundaba la comida y en otras ocasiones huían con rapidez de las catástrofes naturales o de las inclemencias climáticas. Si consideramos las dimensiones geológicas del tiempo, se puede llegar a todas partes, aunque se camine muy despacio. Por ejemplo, considerando una movilidad pequeña, de veinte kilómetros por generación, en sólo veinte mil años, que es un instante en términos evolutivos, algunos individuos *Homo ergaster* podrían haber cubierto la distancia entre Kenia y China. En mucho menos tiempo ya habrían aparecido en Europa y colonizado la península ibérica.

El abandono del continente africano tuvo una gran importancia en la evolución de la especie humana e implicó cambios radicales en el estilo de vida de los homínidos. Los trópicos ofrecen una seguridad considerable en cuanto a recursos alimentarios, con frutos e insectos disponibles todo el año. Por el contrario, en las zonas templadas el paso de las estaciones ofrece grandes variaciones en la oferta alimenticia, incluyendo la escasez terrible del invierno.

Así, con la ayuda del tiempo ilimitado, nuestros antepasados se desplazaron más allá del desierto a lugares desconocidos, al frío de los inviernos que nunca habían previsto en una existencia ecuatorial, a nevadas, a vientos terribles, a peligros de todo tipo. Pero *Homo ergaster* continuó su peregrinación de cientos de miles de años. Su lento vagar llevó a sus descendientes a colonizar todo el mundo excepto América y Australia, cuyo acce-

so estaba impedido por miles de kilómetros de océano infranqueable. Durante esos cientos de miles de años de emigración se acumularon diferencias genéticas entre sus descendientes, lo que ocasionó la aparición de nuevas especies. Se han encontrado restos de *Homo erectus* en diversas zonas de Asia, el denominado Hombre de Pekín, encontrado en unas cavernas de China, o el Hombre de Java, encontrado a las orillas del río Solo. Restos de *Homo georgicus*, cuatro cráneos y cuatro mandíbulas de características más primitivas que *Homo ergaster* africano, posiblemente sus antepasados, se hallaron en Dmanisi, Georgia. *Homo antecessor*, un posible descendiente de *Homo ergaster*, llegó a Europa procedente de África y está muy bien caracterizado a través de los numerosos fósiles encontrados en la sierra de Atapuerca. Esta especie *Homo antecessor* evolucionó fuera del continente africano, en Europa, hasta dar origen a *Homo heidelbergensis* y más tarde a *Homo sapiens neanderthalensis*.

De todas las numerosas especies descendientes de aquellos *Homo ergaster* que abandonaron el continente africano y poblaron el resto del mundo no existe ningún descendiente vivo sobre la superficie de la tierra; su destino fue la extinción. Sin embargo, algunos descendientes de los *Homo antecessor* que permanecieron en África evolucionaron de forma independiente. Su cerebro incrementó su tamaño y su complejidad y dieron lugar, como más adelante veremos, a la única especie que puebla hoy el planeta Tierra, los *Homo sapiens sapiens*, es decir, nosotros.

Bibliografía

Arsuaga, J. L., y I. Martínez, *Atapuerca y la evolución humana*, Fundació Caixa Catalunya, Barcelona, 2004.

Baur, M., y G. Ziegler, *La aventura del Hombre*, Maeva Ediciones, Madrid, 2003.

Lewin, R., y R. A. Foley, *Principles of Human Evolution*, Blackwell Science, Oxford, 2004.

Mithen, S., *Arqueología de la mente*, Crítica, Barcelona, 1998.

Oppenheimer, S., *Los senderos del Edén*, Crítica, Barcelona, 2004.

En Internet:

Dos excelentes páginas sobre *Homo ergaster* y *Homo erectus*, con numerosas ilustraciones:

http://www.mnh.si.edu/anthro/humanorigins/ha/erg.html

http://www.educarchile.cl/autoaprendizaje/biologia/modulo5/clase1/texto/ergaster_erectus.htm

8

CEREBRO Y MATERNIDAD

EL ÓRGANO COSTOSO

EL CEREBRO HUMANO es un órgano de una complejidad extraordinaria. Básicamente está compuesto por cien mil millones de pequeñas células llamadas neuronas que están conectadas entre sí (sinapsis) formando redes de gran complejidad, mediante unas moléculas llamadas neurotransmisores. Cada neurona puede recibir conexiones desde cientos o miles de neuronas (convergencia) y a su vez puede estar conectada con cientos o miles de otras neuronas (divergencia). Esto hace que el número de conexiones neuronales del cerebro humano sea de tal magnitud (un uno seguido de tantos ceros) que es imposible de imaginar.

El desarrollo del cerebro que poseemos los seres humanos fue sin duda uno de los sucesos más extraordinarios de toda la evolución biológica y uno de sus grandes misterios. ¿Cómo llegamos a poseer los seres humanos esta potente estructura generadora de tanta inteligencia creativa? Y, sobre todo, ¿cómo se logró esa proeza evolutiva con tanta rapidez? En el momento actual no podemos dar respuesta a todas estas cuestiones; pero

sí sabemos que el crecimiento espectacular del encéfalo ocurrió durante la gran sequía que acompañó al periodo de enfriamiento global que sucedió en los últimos dos millones de años.

En tres millones de años de evolución se triplicó el volumen del cerebro desde los cuatrocientos cincuenta centímetros cúbicos del cerebro de Lucy (*Australopithecus afarensis*) hasta los mil trescientos cincuenta centímetros cúbicos que, por término medio, tiene hoy día la especie humana. No existe constancia de que se hayan producido cambios de magnitud parecida en ningún mamífero, en los últimos tres millones de años de evolución. También resulta intrigante saber cómo fue posible que el cerebro evolucionase a la velocidad a la que lo hizo: en tres millones de años incrementó su volumen en novecientos centímetros cúbicos. Esto representa un crecimiento de unos treinta milímetros cúbicos por siglo de evolución. Y si consideramos una duración media de treinta años para cada generación, han pasado unas cien mil generaciones desde que Lucy se paseaba por las llanuras de Etiopía, hasta nosotros; esto supone un crecimiento medio de nueve milímetros cúbicos de encéfalo por cada generación.

Además del tamaño, nuestro cerebro se diferencia del de los otros primates en su estructura. De forma resumida podemos establecer que en los seres humanos predominan los lóbulos parietal y temporal, y el lóbulo frontal muestra numerosos y profundos pliegues. El cerebro de los otros primates posee un lóbulo occipital más desarrollado, pero menos desarrollados los lóbulos parietal y temporal. Ya que la masa cerebral no fosiliza, los datos de los que disponemos respecto a la estructura de los cerebros de nuestros antepasados se obtienen por las marcas y los relieves que los lóbulos y las arterias cerebrales dejan en la cara interna de los huesos del cráneo. Hoy en día disponemos de dos herramientas poderosas que permiten obtener datos fiables sobre la estructura cerebral de nuestros anteceso-

res: la tomografía axial computerizada y el tratamiento de imágenes por ordenador. Por eso podemos estar seguros de que la reorganización del cerebro hacia la configuración humana comenzó sólo en el género *Homo*, ya que el cerebro de los australopitecinos conservaba una organización típica de los primates; es decir, el cerebro de Lucy era diferente del nuestro desde los puntos de vista cualitativo y cuantitativo.

Los ladrillos del cerebro

Resulta evidente que el estímulo para la expansión evolutiva del cerebro obedeció a diversas necesidades de adaptación a los nuevos nichos ecológicos ocupados por nuestros ancestros: el incremento de la complejidad social de los grupos de homínidos, el aumento de la variedad de sus relaciones interpersonales, y la necesidad de una comunicación más precisa. Éstas y otras muchas razones fueron la clave para que la selección natural incrementara ese prodigioso edificio que es el cerebro humano. Pero ampliar cualquier edificio, además de un estímulo para hacerlo, precisa de ladrillos específicos con los que construirlo y la energía con la que mantenerlo funcionando.

La evolución rápida del cerebro no sólo requirió alimentos de una elevada densidad energética y abundantes proteínas, vitaminas y minerales; también necesitó el crecimiento del cerebro de otro elemento fundamental: un aporte adecuado de ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena (LcPUFA), que son componentes fundamentales de las membranas de las neuronas, las células que hacen funcionar nuestro cerebro.

Nuestro organismo es incapaz de sintetizar en el hígado suficiente cantidad de estos ácidos grasos; tiene que conseguirlos mediante la alimentación. Los LcPUFA son abundantes en los animales y en especial en los alimentos de origen acuático (pe-

ces, moluscos, crustáceos); por ello, algunos autores consideran que la evolución del cerebro no pudo ocurrir en cualquier parte del mundo, sino que requirió un entorno donde existiera abundancia de estos ácidos grasos en la dieta: un entorno acuático.

El cerebro humano contiene seiscientos gramos de estos lípidos tan especiales y que son imprescindibles para que las neuronas cumplan su función. Entre esos lípidos destacan los ácidos grasos araquidónico (AA, 20:4 ω-6), de la llamada serie omega seis, y docosahexanoico (DHA, 22:6 ω-3), de la serie omega tres; entre los dos constituyen el noventa por 100 de todos los ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena en el cerebro humano y en el del resto de los mamíferos. Una buena provisión de estos ácidos grasos es tan importante que cualquier deficiencia dentro del útero o durante la infancia puede producir fallos en el desarrollo cerebral.

El entorno geográfico del este de África, donde evolucionaron nuestros ancestros, proporcionó una fuente única nutricional, abundante en estos ácidos grasos esenciales para el desarrollo cerebral. Las evidencias fósiles indican que el género *Homo* surgió en un entorno ecológico único, como es la franja del este de África situada entre los numerosos lagos que llenan las depresiones del valle del Rift, y la costa del océano Índico. El área geográfica formada por el mar Rojo, el golfo de Adén y los grandes lagos del Rift forman lo que en geología se conoce como océano fallido. Son grandes lagos, algunos de ellos muy profundos (el lago Malawi, mil quinientos metros, y el lago Tanganika, seiscientos metros) y de una enorme extensión (el lago Victoria, de casi setenta mil kilómetros cuadrados, es el mayor lago tropical del mundo). Se llenaban, como lo hacen hoy, del agua de los numerosos ríos que en ellos desaguaban; por eso sus niveles varían según las condiciones climatológicas regionales y estacionales.

Muchos de estos lagos son alcalinos, debido al intenso vul-

canismo de la zona, y rebosaban de peces, moluscos y crustáceos, que contienen abundantes provisiones de lípidos poliinsaturados de larga cadena muy similares a los que componen el cerebro humano. Este entorno en el que el género *Homo* evolucionó durante al menos dos millones de años proporcionó a nuestros ancestros una excelente fuente de proteínas de elevada calidad biológica y de ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena, una combinación ideal para hacer crecer el cerebro. Ésta es otra de las razones en la que se apoyan algunos para sugerir que nuestros antecesores se adaptaron durante algunos cientos de miles de años a un entorno litoral, posiblemente una vida lacustre, en el «océano fallido» de los grandes lagos africanos y de las costas del océano Índico; y sugieren que nuestra abundante capa subcutánea de grasa es la prueba de esta circunstancia de nuestra evolución.

La realidad es que este entorno lacustre proporcionó abundantes alimentos procedentes del agua, ricos en proteínas de buena calidad y en ácidos grasos poliinsaturados. Estos alimentos completaban la carroña incierta o la caza casi imposible. Durante cientos de miles de años los homínidos evolucionaron en este entorno entre la sabana ardiente y las extensiones interminables de aguas someras o las playas, por donde vagaban los clanes de nuestros antepasados chapoteando a lo largo de kilómetros en busca de alimento. Este entorno único no sólo garantizó los nutrientes imprescindibles para el desarrollo del cerebro, sino que aceleró numerosos cambios evolutivos que confluirían en *Homo sapiens*.

¿Para qué servía un cerebro?

El aumento del volumen del cerebro es una especialización como la de cualquier otro órgano: como la transformación en

aletas de las patas de los cetáceos, el desarrollo de los caninos en los carnívoros, la transformación de los dedos de las patas en los ungulados, o como cualquier otra transformación morfológica o fisiológica que podamos considerar. Según la teoría actual de la evolución, la selección natural favoreció el crecimiento encefálico porque proporcionó ventajas de supervivencia y de reproducción en el nicho ecológico que ocupaban los homínidos. Pero hay que tener en cuenta que nuestros cerebros evolucionaron también para permitir la fabricación de un ordenador, para hacer posible las pautas complejas de interacción social, escribir *El Quijote* o formular la teoría de la relatividad. Y resulta difícil admitir que permitir tales actividades fuera el motivo por el cual la selección natural fomentó el desarrollo de un cerebro de tal tamaño y complejidad en unos clanes de medio simios, que vagaban hace dos millones de años en situación permanente de hambre y miedo por las estepas y zonas lacustres de África; y sobre todo, que evolucionara el cerebro a tal velocidad.

Dos alternativas se ofrecen en relación con la evolución del cerebro. Por una parte están los que consideran que primero surgieron los requerimientos de un cerebro poderoso (necesidad de organización para la caza, mayores niveles de estructuración social, desarrollo de un código eficaz de señales para comunicarse, etc.) y posteriormente la evolución nos otorgó la herramienta precisa para atender a esas demandas. Por otro lado están los que opinan que primero creció nuestro cerebro, resultado de una serie de azarosas mutaciones en determinados genes reguladores, y que luego decidimos qué utilidad darle a esta nueva herramienta.

Éstas y otras circunstancias obligan a que tradicionalmente, a la hora de abordar la evolución del cerebro humano, nos decantemos por las grandes cuestiones: ¿para qué necesitaron nuestros antecesores un cerebro capaz de pintar la *Gioconda* o esculpir la *Pietá*? ¿Por qué la evolución desarrolló una estruc-

tura que permite a la vez sembrar una huerta, componer una sinfonía o diseñar la bomba atómica? Éstas y otras muchas preguntas, aunque tienen un indudable interés, casi nunca tienen una respuesta científica. Lo que sí es cierto es que el cerebro es un lujo evolutivo, y la herramienta más delicada y precisa jamás diseñada por la evolución.

¿Qué hizo que nos pudiéramos permitir ese lujo? ¿Quién se hipotecó para conseguirnos este maravilloso regalo? Imagino que todos los queridos e inteligentes lectores, a estas alturas del libro, conocerán la respuesta. ¡En efecto! De nuevo recayó en la hembra de la especie, en la mujer, la responsabilidad de soportar las cargas y los costes de este extraordinario logro evolutivo.

Cerebro y maternidad

Demos una ojeada rápida a los fundamentos de la hipótesis que defendemos desde estas páginas: el desarrollo del cerebro humano fue posible gracias a los cambios evolutivos que sufrió la hembra de la especie. En los capítulos que siguen profundizaremos en los detalles del resumen que ahora avanzamos.

El incremento de volumen cerebral se acompañó de un aumento paralelo del tamaño del cráneo que lo alberga. En la actualidad, en los recién nacidos humanos el tamaño de la cabeza es más de dos veces mayor que la cabeza de las crías de los primates más próximos. Es evidente que la evolución no pudo emprender el brillante camino del aumento del volumen encefálico sin antes resolver la cuestión de cómo parir una cabeza de ese tamaño. Ya veremos cómo el organismo de la hembra tuvo que resolver este reto y, además, con la dificultad añadida de parir tanta cabeza a través de una pelvis deformada y angulada a causa de la bipedestación.

Pero hay algo más. El cráneo de un primate adulto es más de

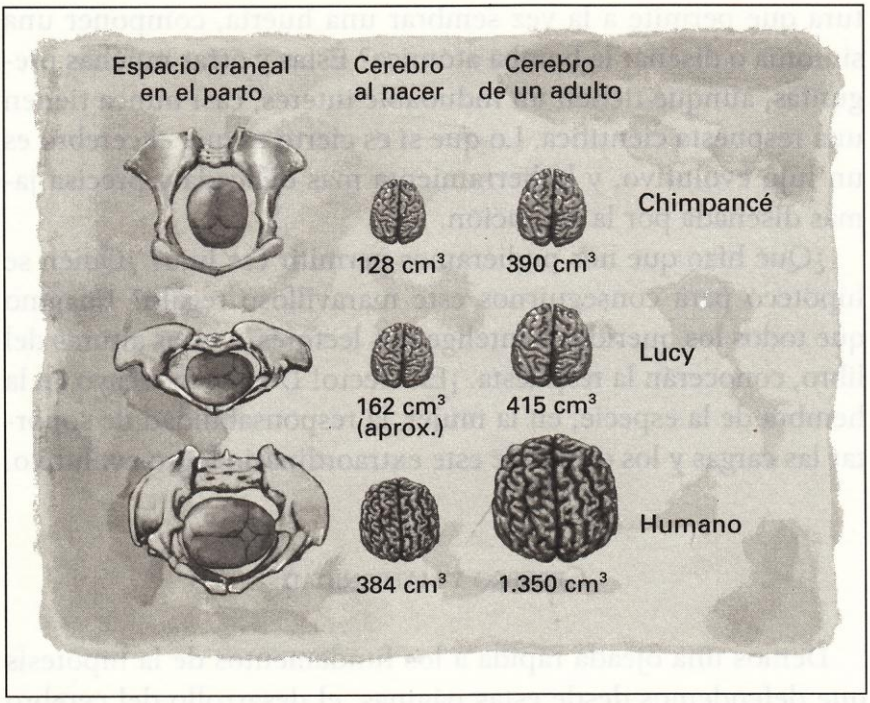

FIGURA 8.1. La necesidad de la interrupción prematura del embarazo en la especie humana.

Los chimpancés al nacer, tras un embarazo de treinta y dos semanas, tienen un cerebro que es el treinta y tres por 100 del tamaño adulto. La situación en Lucy hace tres millones de años debería de ser similar a la del chimpancé de hoy. Si los seres humanos siguieran la regla zoológica general, respecto a la duración de la preñez y el tamaño corporal, la duración del embarazo debería ser de dieciséis meses, unas sesenta y cuatro semanas. Además, nuestros niños nacerían con un cerebro que sería el treinta y tres por 100 del tamaño adulto. Las dimensiones del cráneo de un feto a término serían tan grandes que harían el parto imposible. La solución que encontró la evolución fue la de lanzar al mundo una criatura prematura, un ser a medio hacer, con un cerebro que es apenas el veintiocho por 100 de su tamaño adulto. (Imagen basada en *National Geographic*, otoño de 2000.)

dos veces mayor que el cráneo del monito recién nacido. Teniendo en cuenta que el cráneo de un ser humano adulto es más de tres veces el de un primate, si se mantuviera esa relación para los neonatos humanos, el tamaño del cráneo de un bebé al nacer sería de tal calibre que sería imposible que la madre pariese a ese feto. La selección natural resolvió este problema lanzando a la vida a un ser con el cerebro a medio desarrollar y, por tanto, con un cráneo de menor tamaño que el que acabaría teniendo cuando fuera adulto.

Es decir, el parto normal de una mujer es un parto prematuro a escala zoológica. Las crías de los homínidos (como nuestros hijos hoy) nacían con un elevado grado de inmadurez, casi un año antes de lo que les correspondía. Este hecho implicaba que todo el desarrollo antes y después del nacimiento era más lento en los homínidos que en el resto de los primates. Esta solución, que alivió algo la carga de un parto difícil, generó a su vez dos problemas: en primer lugar la necesidad de aportar, fundamentalmente mediante la lactancia, la energía necesaria para completar el desarrollo del cerebro fuera del útero, sobre todo en los dos primeros años de vida. En segundo lugar, un ser con un cerebro a medio desarrollar tarda tiempo en ser autónomo y valerse por sí mismo y por lo tanto necesita unos cuidados especiales y una atención constante durante varios años. Además, esto provocó que todas nuestras fases vitales, incluidas la infancia y la juventud, fueran más largas en nuestra especie que en el resto de primates. Nuestros niños permanecen infantiles durante más tiempo que sus primos peludos.

La hipótesis de la energía materna

El cerebro es un órgano que consume mucha energía y posee una elevada actividad metabólica. El cerebro humano tiene una

actividad metabólica varias veces mayor que la esperada para un primate de nuestro mismo peso corporal: consume alrededor de un veinte por 100 del gasto energético en reposo (metabolismo basal), en comparación con el diez por 100 de consumo energético de otros primates. Además, el cerebro es exquisito y muy caprichoso en cuanto al combustible que utiliza para producir energía; no le sirve cualquier cosa. En situaciones normales el cerebro sólo consume glucosa y utiliza cien gramos de este azúcar cada día, la cual procede de los hidratos de carbono ingeridos con los alimentos vegetales. Sólo en casos de extrema necesidad, por ejemplo cuando llevamos varios días sin comer hidratos de carbono, el cerebro recurre a su combustible alternativo, un sucedáneo, que son los cuerpos cetónicos que proceden de las grasas.

A causa de estas peculiaridades metabólicas del tejido cerebral, su funcionamiento entraña un importante consumo de recursos y gasta una notable cantidad de combustible metabólico. Estos valores aumentan si consideramos el precio del desarrollo del cerebro; el cerebro de un recién nacido representa el doce por 100 del peso corporal y consume alrededor del sesenta por 100 de la energía del lactante. Una gran parte de la leche que mama un niño se utiliza para mantener y desarrollar su cerebro. Las madres humanas deben emplear mucho tiempo y gastar una gran cantidad de energía en sacar adelante a sus crías; tienen que trabajar duro y dedicar una parte de la energía que produce su organismo para alimentar el cerebro de sus retoños.

Por estas razones el aumento rápido del volumen cerebral a lo largo de la evolución exigió el incremento paralelo de sistemas eficaces de provisión de energía. R. D. Martin respondió a estas cuestiones mediante la llamada «Hipótesis de la energía materna». El tamaño definitivo del cerebro adulto depende, en primer lugar, del metabolismo basal materno, mediado a través del periodo de gestación. En este sentido, el hallazgo de una

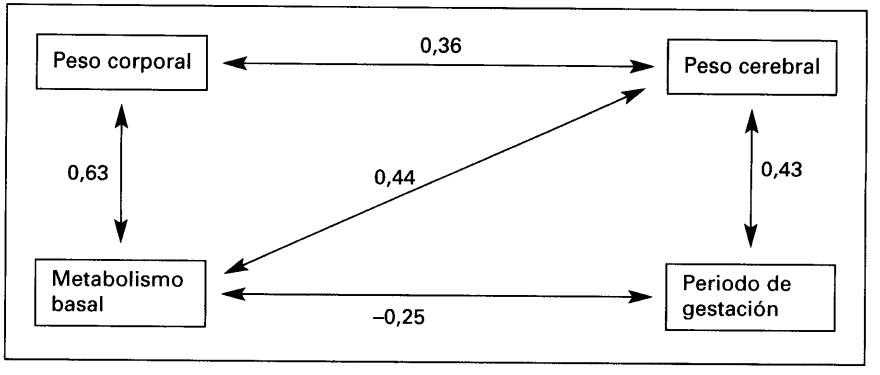

FIGURA 8.2. Hipótesis de la energía materna.

El cerebro es un órgano muy costoso desde el punto de vista metabólico. La energía necesaria para su funcionamiento debe ser aportada por la madre durante el embarazo y la lactancia. Entre los mamíferos existe una correlación positiva (+0,44) entre el metabolismo basal de la madre y el tamaño del cerebro de su hijo. Una elevada tasa metabólica materna permite el aporte extra de energía que necesita el cerebro para desarrollarse. También el tamaño del cerebro guarda una relación directa (+0,43) con la edad de la gestación, ya que cerebros más grandes necesitarían gestaciones más largas para poder desarrollarlos. La correlación negativa entre la tasa de metabolismo basal de la madre y la duración de la gestación (-0,25) se explica porque en aquellas especies con metabolismo basal bajo la única forma de aportar suficiente energía para desarrollar el cerebro es aumentar la duración de la gestación. La excepción a estas reglas zoológicas es la duración de la gestación humana, que tiene que ser interrumpida antes de lo que le correspondería para evitar el tener que parir una cría con un tamaño craneal excesivo. Según la hipótesis de la energía materna de Martin, cada mamífero tiene el mayor cerebro que es compatible con los recursos energéticos proporcionados por la madre durante la gestación y la lactancia. (Gráfico tomado de R. D. Martin, 1996.)

correlación negativa entre el metabolismo basal de la madre y la duración del periodo de gestación, apoya esta hipótesis. Es decir, que en las especies en las que la madre tiene un metabolismo basal más bajo, la única posibilidad para compensar el efecto sobre el desarrollo cerebral del hijo es el de aumentar

el periodo de gestación. Por eso las especies con baja tasa de metabolismo basal tienen gestaciones más largas. Otro de los factores que podría influenciar el desarrollo del cerebro fetal, además de la disponibilidad de recursos metabólicos maternos y de la duración de la gestación, sería la eficacia de transporte de nutrientes a través de la placenta. La hipótesis de la energía maternal propone que todos los mamíferos tienen los mayores cerebros que son compatibles con los recursos metabólicos proporcionados por la madre durante la gestación y la lactancia.

Lo realmente crucial para el volumen del cerebro, por tanto, reside en las posibilidades de suministrar la energía que necesita su desarrollo y su funcionamiento. El tamaño alcanzado por el cerebro depende en esencia del aporte materno de energía durante el desarrollo fetal y a lo largo de los dos primeros años de vida, ya que cuando se produce el destete, ya ha ocurrido la mayor parte del crecimiento cerebral. Dicho en otras palabras: nosotros tenemos el cerebro que tenemos porque, a lo largo de la evolución, el aporte de combustibles desde la madre al feto y al lactante lo han permitido.

¿Y eso es todo? No, veremos que hay mucho más.

La inteligencia es la de mamá

En una ocasión una actriz inglesa de extraordinaria belleza y menguada inteligencia coincidió con el irónico y feo autor teatral, George Bernard Shaw y le dijo: «Con mi belleza y su inteligencia podríamos producir hijos extraordinarios». «¡Desde luego!», respondió rápidamente el autor, y añadió: «Pero ¿y si salen los niños con su cerebro y con mi aspecto?». Una simple broma, pero el dramaturgo inglés estuvo muy cerca de la verdad. Hoy sabemos que a partir de estudios epidemiológicos y experimentales los genes de la madre representan un papel predominante

en el desarrollo de la parte más noble de los cerebros de sus hijos, donde reside la inteligencia. Los genes del padre, por otro lado, son responsables de las áreas cerebrales más primitivas, las responsables de las emociones y de los instintos.

Fue R. Lehrke en 1972 el primero en sugerir que los genes que codifican las funciones intelectuales podrían localizarse en el cromosoma X, el cromosoma femenino. A estos estudios siguieron numerosas investigaciones moleculares, epidemiológicas y familiares sobre la genética de numerosas enfermedades que ocasionan retraso mental. Hoy sabemos que hay más de 150 genes relacionados con el retraso mental. Estos genes están localizados a lo largo del cromosoma X y presumiblemente codifican el desarrollo de diversas partes de nuestra anatomía cerebral y algunas funciones relacionadas con la inteligencia.

Se han desarrollado elegantes estudios en ratones que muestran el papel preponderante de los genes maternos en el desarrollo de las partes del cerebro responsables de la inteligencia. Existe un grupo de genes cuyo funcionamiento depende del sexo del individuo del que procedan. Estos genes se desactivan cuando pasan a través del óvulo o del espermatozoide, de tal forma que sólo una de las dos copias (la que procede del padre o de la madre) es activa en el embrión. Algunos de estos «genes marcados» (*imprinted genes*) solamente funcionan si provienen de la madre, es decir, si los aporta el óvulo; en cambio si estos genes se heredan a través del espermatozoide, si proceden del padre, son silenciados. Otros genes marcados operan de forma contraria, y sólo se activan si proceden del padre, y se quedan mudos si provienen de la madre. Es como si el gen recordase de qué progenitor procede y ello se debe a que en el momento de la concepción se le dota de una huella paterna o materna; es como si el gen de uno de los progenitores estuviera escrito en negrilla. El mecanismo bioquímico mediante el cual se marcan estos genes es la metilación de algunas bases en la molécula de ADN.

Además de los cientos o miles de genes no marcados que se necesitan para construir un cerebro normal, un embrión necesita un balance cuidadoso en la actividad de los genes que recibe de su padre y de su madre. Todo sugiere que los genes maternos podrían contribuir en mayor medida a formar la parte del cerebro de mayor valor social, el córtex, que es la responsable de las funciones intelectuales más elevadas. Los genes del padre contribuyen al desarrollo de la parte más primitiva del cerebro, la que regula las funciones más básicas (instintos, alimentación, agresividad, etc). Además, el crecimiento global del cerebro se promueve por el genoma materno y se retrasa en casos de genoma paterno duplicado.

Algunas raras enfermedades que padecen los seres humanos prueban estas hipótesis. El síndrome de Angelman afecta a niños a los que al nacer les falta la función de algunos genes condicionados en el cromosoma 15. Esta región cromosómica está silenciada en el padre, así que debe ser heredada de la madre. Se produce un fallo genético y las dos copias del cromosoma 15 provienen del padre. El resultado es retraso mental, falta de coordinación en los movimientos, dificultades para hablar y otras deficiencias intelectuales. El síndrome de Prader-Willi se caracteriza por sufrir desórdenes cerebrales caracterizados por hiperfagia (voracidad en la ingestión de alimentos), obesidad y alteraciones relacionadas con las funciones controladas por el sistema límbico. Los genes responsables están normalmente silenciados en la madre y deben de ser heredados del padre. Pero estas personas carecen de la actividad de estos genes, ya que una alteración ocasiona que los dos genes provengan de la madre.

Todos estos estudios sugieren que la hembra puede intervenir en la evolución del tamaño del cerebro mediante un mecanismo genético, además del metabólico antes expuesto.

BIBLIOGRAFÍA

Keverne, E. B., *et al.*, «Genomic imprinting and the differential roles of parental genomes in brain development», *Developmental Brain Research*, 92, 1996, pp. 91-100.

Lehrke, R., «A theory of X- linkage of major intelectual traits», *American Journal of Mental Deficiency*, 76, 1972, pp. 611-619.

Martin, R. D., «Capacidad cerebral y evolución humana», *Investigación y Ciencia*, diciembre 1994.

—, «Scaling of the mammalian brain: the maternal hypothesis», *News in Physiological Sciences*, 11, 1996, pp. 149-156.

Turner, G., «Intelligence and the X chromosome», *The Lancet*, 347, 1996, pp. 1.814-1.815.

Vines, G., «Imprinting genes suggest your cortex may derive from your mother», *New Scientist*, mayo de 1997.

En Internet:
http://www.mgu.har.mrc.ac.uk/research/imprinting/function.html
http://users.rcn.com/jkimball.ma.ultranet/BiologyPages/I/Imprinting.html

9

Evolución y embarazo

El embarazo

Ya hemos adelantado que el embarazo de las mujeres dura menos de lo que le correspondería desde un punto de vista estrictamente biológico: si el embarazo durara lo que le concerniera desde un punto de vista zoológico, tendríamos que decir que sería imposible parir una cabeza del tamaño que adquiriría la del feto. Pero el embarazo debe durar lo suficiente para permitir un desarrollo corporal normal del feto y, sobre todo, sustentar las grandes demandas energéticas que implica el desarrollo de su cerebro.

El desarrollo embrionario del cerebro humano comienza a la cuarta semana de embarazo. El crecimiento es tan acelerado que se forman unas doscientas cincuenta mil neuronas cada minuto. A los dos meses de vida fetal comienza a formarse la corteza cerebral y el cerebro del feto tiene un centímetro y medio de largo. Ya se pueden distinguir los dos hemisferios cerebrales. Aproximadamente al quinto mes ya casi se alcanza la dotación completa de células nerviosas, y el cerebro mide ya cinco centímetros. Hay que tener en cuenta que tras el naci-

miento, el resto del crecimiento cerebral hasta su madurez plena se hará a expensas del aumento de las conexiones entre las neuronas (el cableado).

La duración normal de un embarazo es de nueve meses; cuarenta semanas desde el final de la última menstruación. Esto no es casualidad, sino algo finamente ajustado por la evolución para lograr un equilibrio entre la madurez del recién nacido y el potencial reproductor de la madre. Hay que tener en cuenta que, dada una duración fija de la vida biológica, la posibilidad que tiene una madre de reproducirse declina en el caso de gestaciones mayores o menores que la duración óptima.

¿Cuáles son los genes que controlan la duración del embarazo, los de la madre o los del hijo? El organismo de la madre probablemente ejerce el control efectivo durante la primera parte de la gestación, pero este control va pasando, según progresa el embarazo, de la madre al feto. Al final es el feto quien decide cuándo es el momento de salir al exterior. Hay que considerar que el feto humano debe de haber evolucionado con el fin de permanecer dentro del cuerpo de su madre el tiempo necesario para que la existencia intrauterina sea más conveniente que la vida en el exterior. Es posible que lo que obligue al feto a abandonar la confortable y segura vida intrauterina sea una falta de llegada de nutrientes a través de la placenta. Según numerosos datos, el parto ocurre cuando el crecimiento de las demandas energéticas del feto supera el incremento del aporte placentario de combustible.

La función fundamental de la placenta es la de proporcionar los medios para el transporte de nutrientes, inmunoglobulinas y oxígeno hacia el feto y la retirada de los productos de desecho y el CO_2 hacia el organismo de la madre. Además, la placenta produce numerosas hormonas necesarias para el buen desarrollo del embarazo. A través de la placenta se establece un contacto estrecho entre los sistemas vasculares del hijo y de la

madre. Nunca estas sangres se mezclan en condiciones normales. Pueden producirse pequeños contactos fortuitos, que ocasionan problemas de inmunización en el feto, tal como sucede con las incompatibilidades Rh.

A través de la placenta la madre proporciona la glucosa, que es el principal sustrato energético tanto de la placenta como del feto. También penetran a través de ella los aminoácidos y algunas proteínas, como las inmunoglobulinas que confieren armas defensivas contra una posible invasión por gérmenes. De esta manera, la madre proporciona al feto todos los ácidos grasos que precisa para su desarrollo, en especial de su cerebro.

La placenta humana es del tipo hemocorial; un modelo muy invasor, en el sentido de que se ancla mediante multitud de vasos al útero de la madre, para así favorecer el aporte de los nutrientes y del oxígeno que proporciona la madre al feto y la eliminación de los productos de desecho que genera el embrión. Es el modelo de placenta más eficiente para garantizar el elevado aporte energético que necesita el crecimiento embrionario del cerebro humano. El animal que sigue al hombre en tamaño cerebral relativo es el delfín, que tiene una placenta tipo epiteliocorial, no invasiva, que es mucho menos eficiente en aportar oxígeno y nutrientes al feto. Recordemos que, según la hipótesis de Martin, los mamíferos desarrollan el mayor cerebro que es compatible con los recursos energéticos que les aporta la madre.

Entre los numerosos misterios en torno al embarazo hay que tener en cuenta que los genes necesarios para fabricar la placenta provienen siempre del padre. Este hecho tiene implicaciones sorprendentes. Por ejemplo, se ha hablado mucho de que en el futuro las técnicas de clonación permitirán la partenogénesis, es decir, que una madre engendre hijas genéticamente idénticas a ella. Sólo se necesita en principio extraer a uno de sus óvulos el núcleo haploide (con la mitad de cromo-

somas) y transplantarle un núcleo diploide (con la dotación cromosómica completa) procedente de cualquiera de las células de la madre e implantar ese óvulo «fecundado» en el útero. Esto que se ha logrado en animales sería mucho más difícil de conseguir en la especie humana, ya que a ese óvulo le faltarían los genes que contienen los planos para fabricar la placenta.

La maternidad y la vida futura del niño

El feto no está absolutamente a salvo dentro del útero materno. La madre transmite al feto gran parte de los avatares que suceden en el entorno. Muchos de estos cambios pueden producir graves consecuencias, como ocurre cuando las agresiones proceden de las infecciones, los tóxicos (por ejemplo, consumo de tabaco por la madre) o una deficiente nutrición materna. Estos factores pueden ser de tal magnitud que ocasionen la muerte del feto. Si éste sobrevive puede desarrollar un hipocrecimiento prenatal, es decir, un peso o talla en un recién nacido inferior a los esperados para una edad gestacional determinada. En general se acepta que existe un hipocrecimiento prenatal real cuando el recién nacido, de edad gestacional de entre las treinta y siete y las cuarenta y dos semanas, tiene un peso igual o inferior a dos mil quinientos gramos. Las consecuencias de una deficiente nutrición fetal dependen del momento de la gestación en la que actúen los factores desencadenantes. Son muy diferentes los ritmos de crecimiento y maduración de los órganos y los tejidos fetales, y de ahí la heterogeneidad de las alteraciones que se pueden encontrar en los recién nacidos con hipocrecimiento prenatal en función del momento, la intensidad y la duración de la actuación del agente o la circunstancia nociva.

El hipocrecimiento prenatal puede tener insospechadas consecuencias a largo plazo. A principios de la década de 1970 se

produjo un hallazgo casual que tuvo un gran impacto en la ciencia médica. Unos epidemiólogos ingleses encontraron unas viejas historias clínicas ginecológicas, de nacimientos ocurridos entre 1911 y 1930 en Herfordshire, Inglaterra. Lo sorprendente de estas historias clínicas estriba en que en ellas se habían anotado las medidas cuidadosas del peso de los recién nacidos en el momento de nacer y tras el primer año de vida, parámetros que en la época no solían considerarse y mucho menos anotarse. Eran los datos de un frustrado estudio, que habían quedado olvidados en algún armario del hospital. Decidieron ver qué fue lo que había ocurrido con aquellos niños cincuenta años después. Indagaron por todo el Reino Unido y constataron que unos vivían y otros habían muerto por causas diversas. Cuando enfrentaron estadísticamente los datos de la causa del fallecimiento con los datos obstétricos de su nacimiento, advirtieron que los que habían muerto de infarto de miocardio, hipertensión o diabetes eran los que habían pesado menos al nacer y, sobre todo, que su bajo peso había persistido durante el primer año de vida.

Numerosos estudios posteriores, y los que aún continúan, han permitido confirmar una de las observaciones clínicas más intrigantes realizadas en los últimos años: la asociación estrecha que existe entre el bajo peso al nacer y el desarrollo en la edad adulta de hipertensión, diabetes, obesidad o infarto de miocardio. Es decir, que el nacer con bajo peso y sobre todo si se mantiene esta circunstancia durante el primer año de vida, supone un riesgo de padecer estas alteraciones en la edad adulta. ¿Qué relación tiene con nuestra evolución este interesante hallazgo clínico? ¿Qué consecuencias podemos sacar para nuestra salud?

La capacidad de reproducción se compromete mucho en una dieta carente en hidratos de carbono. Durante el embarazo se produce una demanda extra de glucosa. El feto y la placenta

utilizan sólo glucosa para su metabolismo y el azúcar se precisa también para la síntesis de las glucoproteínas y de los glucolípidos, moléculas muy necesarias para el desarrollo fetal. La unidad materno-fetal utiliza más hidratos de carbono que lípidos como combustible. Puesto que los últimos dos millones de años de nuestra evolución han transcurrido en condiciones de una dieta muy baja en hidratos de carbono y muy rica en proteínas (pocos alimentos vegetales), se tuvieron que establecer las adaptaciones metabólicas necesarias para permitir el desarrollo normal de la preñez en nuestras antepasadas, en especial durante los últimos miles de años vividos en pleno periodo glacial, cuando apenas había posibilidad de conseguir alimentos ricos en carbohidratos.

El truco que encontró la selección natural fue potenciar durante la preñez un fenómeno metabólico que se conoce como insulinorresistencia. Todas las mujeres embarazadas incrementan de manera transitoria su resistencia a la acción de la insulina a lo largo del embarazo. Incluso algunas mujeres pueden llegar a padecer un tipo especial de diabetes que se denomina diabetes gestacional. Con esta insulinorresistencia fisiológica se reduce el consumo de glucosa en el músculo y en el hígado de la madre y se reserva el azúcar para los tejidos del feto, incluido el cerebro en crecimiento, y para la placenta. Este ingenioso mecanismo asegura que en caso de un periodo de escasez nutricional el organismo de la madre reduce el consumo de glucosa y reserva el preciado azúcar para ser consumido por el feto.

La reproducción humana estaría muy comprometida en mujeres con una gran sensibilidad a la acción de la insulina, ya que se desperdiciaría una elevada proporción de la glucosa en tejidos como el músculo materno, que pueden recurrir a otros combustibles, como son los ácidos grasos. Una gran sensibilidad a la insulina ocasionaría una incapacidad del organismo de la madre a adaptarse a las demandas extras de glucosa durante

la reproducción. Y por supuesto en esas condiciones de gran sensibilidad a la insulina la reproducción sería imposible con una dieta pobre en hidratos de carbono. Por ello las dietas bajas en hidratos de carbono que tuvieron que soportar nuestros antecesores durante los dos últimos millones de años de evolución habrían seleccionado a las hembras capaces de desarrollar insulinorresistencia, es decir, habrían orientado su metabolismo para conservar la glucosa necesaria para la supervivencia y el desarrollo adecuado del feto y para la producción de leche.

El protagonismo del feto

¿Cuál es el papel que desempeña el feto en este proceso? Es muy importante, ya que el feto pone en marcha dispositivos metabólicos que le permiten reaccionar frente a un estrés ambiental manifestado o captado a través de la madre. El embrión, cuando completa un cierto grado de desarrollo intrauterino, ya tiene prácticamente todos los tejidos y órganos funcionando. La secreción de insulina del páncreas del propio feto es uno de los determinantes clave del crecimiento fetal, sobre todo durante el tercer trimestre de embarazo, que es cuando aumenta mucho el tamaño del feto. El feto obtiene su aporte de combustible metabólico exclusivamente a partir de la glucosa que le proporciona la madre a través de la placenta.

Gran parte del azúcar que le llega por el cordón umbilical debe transformarse en componentes del organismo fetal en crecimiento. Se pueden dar dos circunstancias. Si el aporte de glucosa y demás nutrientes al feto es suficiente, el feto secreta su insulina, que actúa normalmente a través de los receptores para fomentar el uso de esa glucosa para el metabolismo de las células, para convertirla en grasa y crear esos depósitos adiposos que son tan importantes para su desarrollo. Nacerá un niño

con un peso normal, en torno a tres kilos y medio, y una buena provisión de grasa corporal.

Pero si ocurre una deficiencia en el aporte de glucosa y otros nutrientes desde la madre, el feto debe preservar para el cerebro esa poca glucosa que le llega, no puede malgastarla quemándola en células que pueden utilizar otro tipo de combustible. El mecanismo que utiliza el feto para desarrollarse en esas condiciones de penuria de glucosa es la insulinorresistencia. Al dificultarse la actuación de la insulina sobre sus receptores se restringe el uso de la glucosa en aquellos procesos no indispensables y se reserva el azúcar para el desarrollo del cerebro y, si sobra, para su transformación en grasa. El feto desnutrido crea resistencia a la insulina sobre todo en el músculo; en cierta forma se sacrifica el crecimiento muscular en aras de permitir el desarrollo normal del cerebro. Los niños muy desnutridos nacen con bajo peso porque no han tenido suficiente glucosa para formar la necesaria reserva grasa y nacen con insulinorresistencia.

No se conoce el mecanismo por el cual el feto desnutrido desarrolla esta insulinorresistencia, que le permite sobrevivir pero que tan funestas consecuencias tiene en la edad adulta. Una teoría denominada «Hipótesis del fenotipo ahorrador», formulada en 1992 por C. N. Hales, propone que la insulinorresistencia deriva de los cambios ocurridos en el metabolismo del feto a causa de las influencias ambientales. Otra hipótesis adjudica el protagonismo a los genes del feto que se activan por las malas condiciones nutricionales. Es decir, sólo aquellos fetos dotados de los genes de insulinorresistencia sobrevivirían a las condiciones de déficit de hidratos de carbono, de un entorno intrauterino de malnutrición; aquellos fetos carentes de estos genes, no sobrevivirían. Posiblemente, como casi siempre, lo cierto sea una combinación de ambos mecanismos.

Así, en las épocas de mayor escasez de hidratos de carbono

a lo largo de nuestra evolución, se seleccionarían aquellos fetos que ante situaciones de bajo aporte de glucosa activarían sus genes de insulinorresistencia. Estos fetos desarrollarían su propio programa metabólico. Sobrevivirían, se reproducirían cuando llegaran a ser adultos y transmitirían a sus descendientes esas características genéticas. Hay una elevada mortandad entre los niños que nacen con un bajo peso, pero los que sobreviven tienden a desarrollar una insulinorresistencia para toda la vida.

La nutrición de la embarazada

Las necesidades del feto en desarrollo deben ser proporcionadas por la madre a través de su propia alimentación. Todos los mamíferos, incluido el ser humano, reciben en la vida intrauterina, a través de la placenta, una «comida fetal» con una composición adecuada en glucosa, lactato, aminoácidos, grasas, vitaminas y minerales. Una deficiencia severa en algún nutriente podría ocasionar en el niño daños irreparables. Para una mujer embarazada comer bien no es comer por dos, sino preocuparse por la calidad y la variedad de los alimentos. Alimentándose correctamente se garantiza que el feto en crecimiento reciba todos los nutrientes, las vitaminas y los minerales que precisa.

Respecto a la cantidad, se calcula que para cualquier mujer el coste energético del embarazo representa unas doscientas cincuenta kilocalorías por día; es la cantidad de energía suplementaria que debe recibir una mujer gestante, por encima de lo que en ella es habitual. Esto supone una inversión energética total por embarazo de unas ochenta mil kilocalorías.

Con respecto a la calidad y variedad de la alimentación, aún hoy existen algunas deficiencias. Es posible que nuestras antecesoras homínidas comieran poco, que tuvieran dificultades

para encontrar alimentos; pero la variedad de alimentos que conformaban su dieta era mucho mayor que la nuestra en pleno siglo XXI. Esta aparente paradoja se debe a la llamada «Ley del embudo de la alimentación». Los habitantes del Paleolítico podían recolectar una gran variedad de plantas silvestres y cazaban una gran cantidad de especies diferentes de animales, de insectos, de moluscos, de crustáceos, de peces. En realidad comían todo aquello que lograban atrapar o recolectar. Esta enorme diversidad de alimentos garantizaba el aporte de todas las vitaminas y los minerales necesarios. En contraste, los seres humanos del Neolítico cuando desarrollaron la agricultura y la ganadería restringieron enormemente la variedad de alimentos a unos pocos animales (el ganado) y a unas cuantas plantas (cereales y algunas verduras o frutas). Esta tendencia de «embudo alimenticio» ha continuado hasta nuestros días; la mayor parte de la gente que vivimos hoy en las sociedades industrializadas nos alimentamos de un rango sumamente estrecho de alimentos: unos pocos vegetales (trigo, arroz, maíz, patatas, legumbres y algunas pocas verduras y frutas). Respecto a los animales terrestres, el vacuno y el porcino representan más del ochenta por 100 de la carne que consumimos. Mucha gente apenas consume pescado, y también cuando lo hacemos nos circunscribimos a unas pocas variedades.

Merece destacar la importancia nutricional de los ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena (LcPUFA). Ya sabemos que estas grasas son esenciales para el desarrollo y funcionamiento de nuestro cerebro. Un aporte suficiente de estos ácidos grasos durante el embarazo y el periodo neonatal es crítico para el desarrollo y buen funcionamiento del cerebro. El cerebro fetal adquiere veintiún gramos de DHA (ácido docosahexanóico) por semana durante el último trimestre de embarazo. Diversos estudios muestran que la función intelectual y la capacidad de aprendizaje pueden quedar afectadas permanentemente en el

niño si no se acumula suficiente DHA y otros LcPUFA durante la vida intrauterina. Los ácidos grasos poliinsaturados pueden pertenecer a dos grandes familias. La familia omega 6 (Ω-6 también n-6) y la familia omega 3 (Ω-3 también n-3). La dieta de la embarazada debe contener un equilibrio entre ambos tipos de ácidos grasos, lo que se puede conseguir incluyendo en la dieta suficientes cantidades de estas grasas, que son muy abundantes en las carnes, en los pescados, sobre todo los pescados grasos o azules, en las semillas vegetales y en los frutos secos. La placenta tiene unos sistemas de transporte llamados translocasas, que introducen de forma muy eficaz estos compuestos en la sangre del feto.

También el feto requiere de un aporte adecuado de calcio y de fósforo para que pueda formar su esqueleto, de hierro (unos quince miligramos diarios) y de otros minerales y vitaminas; pero hay un elemento de enorme importancia para el desarrollo cerebral del feto y del que hoy, incluso en sociedades desarrolladas, puede existir una deficiencia: el yodo. El yodo es un elemento que cumple la importante misión de producir las hormonas tiroideas. Una deficiencia de yodo en la dieta puede ocasionar graves trastornos para la salud de todos; pero cuando esta deficiencia se produce durante el embarazo puede ocasionar daños cerebrales irreversibles en el niño. Es posible que las hembras de nuestros ancestros, que habitaban zonas lacustres y se alimentaban con abundancia de pescados, no tuvieran problemas de yodo, ya que este elemento es muy abundante en los alimentos marinos. Hoy todas las autoridades y organizaciones mundiales advierten del peligro de esta deficiencia que se puede solucionar de una forma barata y sencilla: cocinar con sal yodada.

BIBLIOGRAFÍA

Ballabriga, A., y A. Carrascosa, *Nutrición en la infancia y en la adolescencia*, Ergón, Madrid, 1998.

Barker, D. J. P., P. D. Winter, C. Osmond, B. Margretts y S. J. Simmons, «Weight in infancy and death of ischaemic disease», *The Lancet*, 2, 1989, pp. 577-580.

Dutta-Roy, A. K., «Transport mechanisms for long-chain polyunsaturated fatty acids in the human placenta», *American Journal of Clinical Nutrition*, 71, 2000, pp. 315S- 322S.

Haig, D., «Genetic conflicts of pregnancy and childhood», en *Evolution in health and disease*, Oxford University Press, Oxford, 1999.

Hales, C. H., y D. J. P. Barker, «Type 2 (non-insulin-dependent) diabetes mellitus: the thrifty phenotype hypothesis», *Diabetologia*, 35, 1992, pp. 595-601.

Hattersley, A. T., y J. E. Tooke, «The fetal insulin hypothesis: an alternative explanation of the association of low birthweight with diabetes and vascular disease», *The Lancet*, 353, 1999, pp. 1.789-1.792.

Krishnaswamy, K., A. N. Naidu, M. P. R. Prasad y G. A. Reddy, «Fetal malnutrition and adult chronic disease», *Nutrition Reviews*, 60, 2002, pp. S35- S39.

Marco, M.V., «Bajo peso al nacimiento y síndrome metabólico», *Endocrinología y Nutrición*, 49, 2002, pp. 285-288.

Phillips, D. I. W., «Insulin resistance as a programed response to fetal undernutrition», *Diabetologia*, 39, 1996, pp. 1.119-1.122.

Wells, J. C. K., «The thrifty phenotype hypothesis: Thrifty offspring or thrfty mother?», *Journal of Theoretical Biology*, 221, 2003, pp. 143-161.

En Internet:

Importancia del yodo para el desarrollo cerebral: *http://www.tiroides.net/control.htm*

Importancia de los PUFA en la dieta de la embarazada: *http://www.consumer.es/web/es/nutricion/salud_y_alimentacion/embarazo_y_lactancia/2003/04/11/60184.php*

10

LAS DIFICULTADES DEL PARTO

EL PARTO EN *ARDIPITHECUS RAMIDUS*

PARA NUESTROS ANTECESORES, los *Ardipithecus ramidus*, hace cinco millones de años, el parto debía de ser un hecho solitario, que no precisaba ayuda; ocurriría de forma similar a como ocurre hoy en los monos. Entre los chimpancés y los gorilas el parto es fácil y rápido, a pesar de la similitud del diámetro del cráneo del feto con el diámetro del canal del parto (aproximadamente el cráneo ocupa el noventa y ocho por 100 del diámetro del canal del parto en la mayor parte de los primates).

En las especies cuadrúpedas, como los monos y probablemente en nuestro antecesor cuadrúpedo, la entrada y salida del canal del parto tiene una mayor anchura en la dimensión sagital (de delante hacia atrás) y es más estrecha en la dimensión transversal (de oreja a oreja). Además, la sección del canal del parto en los simios mantiene la misma forma desde la entrada hasta la salida; la vagina está alineada con el útero, y el feto a término de un mono penetra en el canal del parto introduciendo la cabeza en primer lugar, con la parte más ancha y posterior de su cráneo apoyada en la parte más espaciosa de la pelvis,

cerca del coxis; describiría durante el parto una trayectoria recta dirigida hacia atrás: son dos óvalos que coinciden en forma y disposición espacial. La cría del mono sale del canal del parto con la cara mirando hacia el vientre de la madre; es decir, madre e hijo se ven cara a cara.

Las monas paren sentadas sobre las patas posteriores o apoyándose en las cuatro patas. Cuando la cría está saliendo del canal del parto la madre puede agacharse y ayudar a nacer a su hijo tirando de él con las manos, limpiándole la nariz y la boca de las mucosidades para que pueda respirar mejor y liberándolo del cordón umbilical, si es que éste se le enreda alrededor del cuello. Por otra parte, las crías recién nacidas de los monos nacen con suficiente fuerza y madurez para colaborar de forma activa en su propio nacimiento. Una vez que sus manos quedan libres pueden sujetarse de los pelos de la madre.

El parto de Lucy

Ya hemos visto cómo la adopción de la postura erecta, hace cuatro millones de años, obligó a drásticas modificaciones en el organismo de la hembra de la especie. Una de esas exigencias afectó al mecanismo del parto. Para que la bipedestación fuera posible tuvo que modificarse la arquitectura de la pelvis y, por consiguiente, la estructura del llamado canal del parto, que es el conjunto de cavidades óseas y de partes blandas que tiene que atravesar el feto para salir desde el interior del útero al exterior. Para que la bipedestación fuera posible, también se tuvo que resolver el problema del parto con estos cambios anatómicos.

La morfología de los huesos de la pelvis, el isquión y el pubis, indican que en Lucy el parto tendría ciertas características de los humanos modernos, con rotación de la cabeza del feto y una trayectoria curva del canal del parto. El canal del parto de

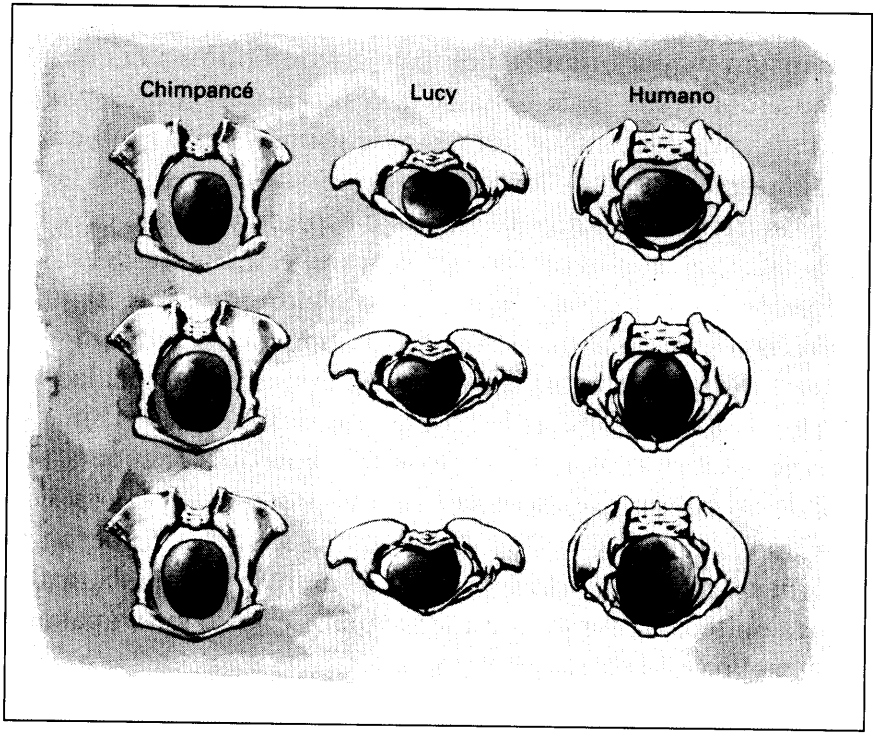

FIGURA 10.1. El parto a través de la evolución.

En el chimpancé y probablemente en *Ardipithecus ramidus*, la entrada y salida del canal del parto son más anchas en la dimensión sagital (de delante hacia atrás) que en la dimensión transversal (de oreja a oreja). Al no existir angulaciones y dado el tamaño del cráneo en el feto, el parto es fácil.

En los australopitecinos la bipedestación obligó a una modificación de los huesos de la cadera. El canal del parto, según se deduce del análisis de la cadera de Lucy, tenía forma de óvalo aplastado, con la dimensión mayor en sentido transversal, tanto a la entrada como a la salida. Mientras salía la cabeza ladeada, los hombros estarían orientados de delante hacia atrás. Por lo tanto una vez que salía la cabeza debían de girar los hombros para ajustarse al diámetro máximo del óvalo de salida. En los seres humanos la cosa se complicó más porque a las angulaciones del canal del parto se añadió el tamaño de la cabeza del feto, que coincide casi exactamente con las dimensiones del canal. Esto obliga a que el feto realice una serie de rotaciones de la cabeza y de los hombros hasta conseguir salir al exterior. (Figura basada en C. O. Lovejoi, 2000.)

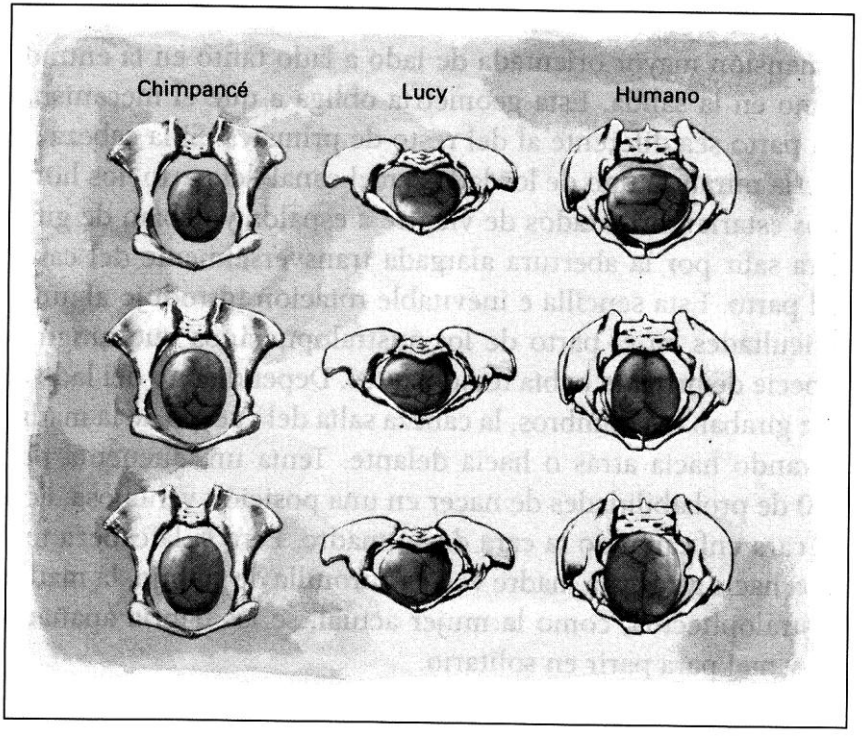

FIGURA 10.1. El parto a través de la evolución.

En el chimpancé y probablemente en *Ardipithecus ramidus*, la entrada y salida del canal del parto son más anchas en la dimensión sagital (de delante hacia atrás) que en la dimensión transversal (de oreja a oreja). Al no existir angulaciones y dado el tamaño del cráneo en el feto, el parto es fácil.

En los australopitecinos la bipedestación obligó a una modificación de los huesos de la cadera. El canal del parto, según se deduce del análisis de la cadera de Lucy, tenía forma de óvalo aplastado, con la dimensión mayor en sentido transversal, tanto a la entrada como a la salida. Mientras salía la cabeza ladeada, los hombros estarían orientados de delante hacia atrás. Por lo tanto una vez que salía la cabeza debían de girar los hombros para ajustarse al diámetro máximo del óvalo de salida. En los seres humanos la cosa se complicó más porque a las angulaciones del canal del parto se añadió el tamaño de la cabeza del feto, que coincide casi exactamente con las dimensiones del canal. Esto obliga a que el feto realice una serie de rotaciones de la cabeza y de los hombros hasta conseguir salir al exterior. (Figura basada en C. O. Lovejoi, 2000.)

los australopitecinos tiene la forma de óvalo aplastado, con la dimensión mayor orientada de lado a lado tanto en la entrada como en la salida. Esta geometría obliga a que el mecanismo del parto sea diferente al del resto de primates. Si la cabeza de la cría miraba a uno de los lados en el canal del parto, los hombros estarían orientados de vientre a espalda y debían de girar para salir por la abertura alargada transversalmente del canal del parto. Esta sencilla e inevitable rotación introdujo algunas dificultades en el parto de los australopitecinos que ninguna especie de primate había tenido antes. Dependiendo del lado al que giraban los hombros, la cabeza salía del cuerpo de la madre mirando hacia atrás o hacia delante. Tenía un cincuenta por 100 de probabilidades de nacer en una posición ventajosa, con su cara enfrentando la cara de su madre. Pero si la cabeza miraba hacia atrás y la madre veía la coronilla de su hijo, la madre australopitecina, como la mujer actual, se las habría apañado muy mal para parir en solitario.

A pesar de ello, el parto en las hembras de los australopitecinos no debía de ser muy difícil, ya que el pubis era muy largo y el canal del parto era mucho mayor que en las mujeres actuales, en relación con el tamaño de la cabeza del feto. Los recién nacidos tenían el cráneo grande, un tercio del tamaño del adulto, pero esto no planteaba problemas serios, ya que los adultos tenían un cráneo casi tres cuartas partes menor que el nuestro. Pero, aunque el parto no fuera entonces muy conflictivo, la pelvis de los *Australopithecus* estaba ya diseñada para resolver el problema que la locomoción bípeda había originado.

El parto en el género *Homo*

Los seres humanos no podemos nacer con nuestro enorme cerebro ya prácticamente formado, como les sucede a nuestros

primos los chimpancés, que a las dos semanas de nacer ya están llevando una vida casi independiente de su madre. En el chimpancé, con un encéfalo de unos cuatrocientos centímetros cúbicos, el cerebro del feto aumenta rápidamente en complejidad y tamaño dentro del útero. Cuando nace el animal, tras un periodo de entre treinta y dos y treinta y cuatro semanas de gestación, su cerebro ha alcanzado ya casi el cuarenta por 100 de su capacidad adulta.

En un homínido, como *Homo ergaster*, con un volumen cerebral dos veces mayor que el del chimpancé, un desarrollo paralelo sería impensable. En proporción con el resto de los primates, la gestación humana debería durar dieciséis meses: nacería la cría con un tamaño de cráneo de tal magnitud que el parto sería una empresa demasiado arriesgada para haber prosperado en la evolución. La selección natural eliminó a aquellos individuos en los que la gestación duraba demasiado y en los que el tamaño del volumen craneal fetal en el momento del parto fuese de tal magnitud que el paso por el canal obstétrico resultase imposible. La razón es que esto conducía inevitablemente a la muerte de la madre y del hijo; y, en consecuencia, la selección natural favoreció lo contrario.

Para resolver el problema de parir un ser con nuestro tamaño cerebral y a través de una pelvis deformada por la bipedestación, la solución fomentada por la selección natural fue la de lanzar a la vida a un ser a medio desarrollar: los niños se paren al sesenta por 100 de su desarrollo embrionario completo. Las crías del género *Homo* nacían con un elevado grado de inmadurez, casi un año antes de tiempo. Por eso el cerebro del recién nacido humano sólo representa el veinticinco por 100 del volumen del cerebro del adulto. El crecimiento del cerebro se completa a los siete años y no se alcanza su pleno desarrollo hasta los veintitrés años, aproximadamente.

Ya hemos señalado que en los machos y en las hembras de

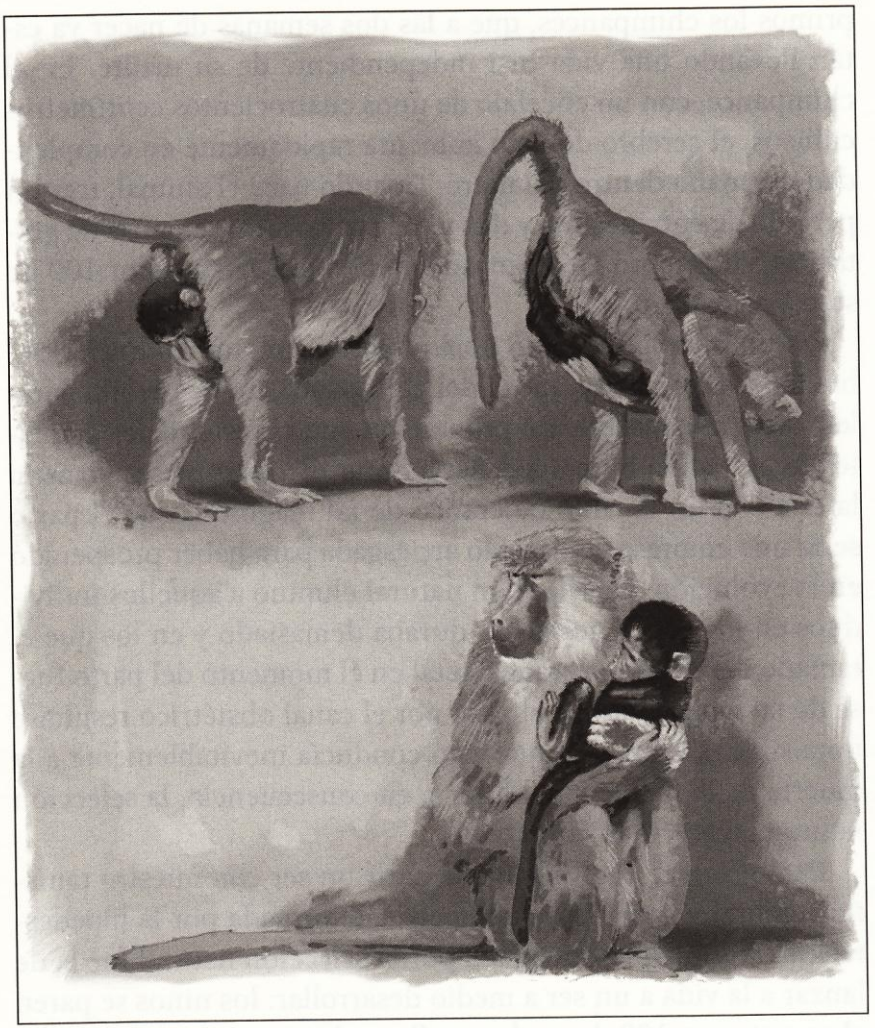

FIGURA 10.2. El parto en los primates.

El parto en los primates es un acto solitario. Como en toda hembra cuadrúpeda, en la hembra del chimpancé el canal del parto carece de angulaciones, el útero está alineado con la vagina y el feto nace sin flexionarse y con su cara mirando a la cara de su madre. Ésta puede ayudar al nacimiento de su hijo con sus propias manos, guiarlo hasta sacarlo sin causarle daño a su columna vertebral e incluso aliviarle del cordón umbilical si lo trae liado al cuello. (Figura basada en K. R. Rosemberg, 2002.)

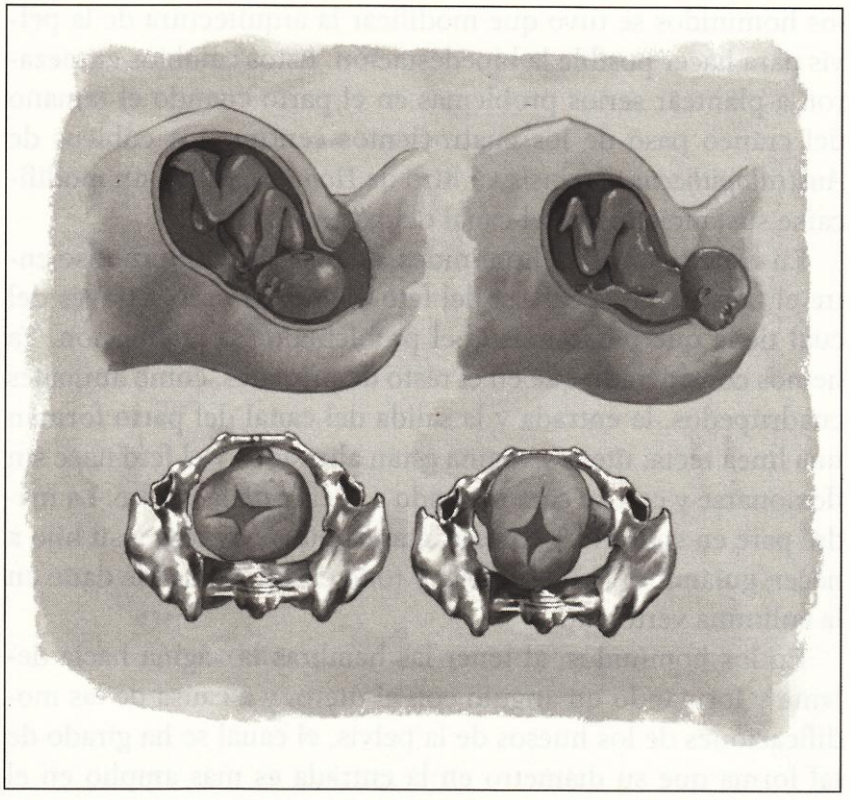

FIGURA 10.3. La necesidad de asistencia en el parto humano.

El parto en la mujer, aunque puede ocurrir en solitario, normalmente precisa de la asistencia de otra persona. A causa de la bipedestación los huesos de la cadera han sufrido modificaciones con respecto al resto de primates y el canal del parto forma angulaciones; además el útero forma un ángulo recto con la vagina. El feto debe realizar una serie de rotaciones de la cabeza y de los hombros para avanzar por este tortuoso pasadizo. Al nacer, la coronilla de la cabeza del feto se apoya en el pubis de la madre. Ésta sólo ve de su hijo la parte posterior de la cabeza. En esta posición, si la madre intentara ella sola ayudar a su hijo a nacer, podría dañarle la médula espinal a causa de la extrema flexión de la columna vertebral. También resultaría muy difícil para la propia madre desanudar el cordón umbilical de su hijo si lo trajera liado al cuello.

los homínidos se tuvo que modificar la arquitectura de la pelvis para hacer posible la bipedestación. Estos cambios empezaron a plantear serios problemas en el parto cuando el tamaño del cráneo pasó de los cuatrocientos centímetros cúbicos de *Australopithecus afarensis*, al litro de *Homo ergaster*, sin modificarse sustancialmente el canal del parto.

En el parto en estos homínidos, además del compromiso entre el tamaño de la cabeza del feto y el canal óseo a través del cual tiene que pasar, existía el problema de la angulación. Ya hemos considerado que en el resto de primates, como animales cuadrúpedos, la entrada y la salida del canal del parto forman una línea recta: útero y vagina están alineados y el feto nace sin flexionarse y con su cara mirando a la cara de la madre. La madre pare en solitario y con sus manos puede ayudar a su hijo a nacer, guiándolo hasta sacarlo; y todo ello sin causarle daño en la columna vertebral.

En los homínidos, al tener las hembras la vagina hacia delante y formando un ángulo con el útero, y a causa de las modificaciones de los huesos de la pelvis, el canal se ha girado de tal forma que su diámetro en la entrada es más amplio en el sentido transverso, mientras que en la salida es más ancho en el sentido sagital. Así, los diámetros máximos de la entrada y la salida son perpendiculares uno con otro. Para comprender la estrecha correspondencia que existe entre las dimensiones de la madre y las del feto humano debemos tener en cuenta que el canal del parto tiene un diámetro máximo de trece centímetros y un diámetro mínimo de diez centímetros. El diámetro anteroposterior de la cabeza de un recién nacido mide un promedio de diez centímetros, y la anchura de los hombros es de doce centímetros. El neonato humano debe realizar una serie de rotaciones para atravesar este tortuoso pasadizo entre los huesos de la pelvis. Para ello, la columna vertebral del feto se arquea, y se flexiona mucho la cabeza hacia la espalda. La cabeza casi

siempre sale con el occipucio hacia el vientre de la madre, y la nuca del recién nacido apoyada en el pubis de la madre; es decir, que la madre no ve la cara de su hijo, sino su coronilla. Esta tendencia del niño humano a nacer mirando en sentido contrario a la madre es el cambio que más decisivamente ha contribuido a transformar el parto, desde un acto solitario a un evento social. El trayecto que debe recorrer a través de ese canal de forma variable obliga a que el parto humano sea tan difícil y peligroso para la mayoría de los hijos y de las madres.

La contribución del propio feto

También el feto tuvo que contribuir con diversas adaptaciones para facilitar este parto tan complicado. Durante el parto, el feto puede ver comprometido el aporte de oxígeno y poner en peligro su vida. Durante el parto se despega la placenta del útero, aunque el feto sigue unido a la placenta mediante el cordón umbilical. Esto ocurre a veces antes de que el bebé sea parido por completo, sobre todo si el parto es muy lento. En estos casos el niño puede sufrir hipoxia al no llegarle el oxígeno que le proporcionaba la madre. El tejido neonatal ha desarrollado adaptaciones metabólicas extraordinarias de tal forma que puede soportar estas condiciones adversas y sobrevivir sin oxígeno durante treinta minutos. En el adulto, sin embargo, se produce un daño cerebral irreversible con sólo tres minutos de falta de oxígeno. El mecanismo que desarrolla el feto para sobrevivir a una falta de oxígeno consiste en una elevada actividad del metabolismo anaeróbico (sin oxígeno) de la glucosa en todos los tejidos, incluido el músculo cardiaco. Un feto puede mantener el latido cardiaco largo tiempo en ausencia de oxígeno, a diferencia del corazón adulto, que con pocos minutos sin oxígeno se provoca la muerte del músculo cardiaco, como ocurre en el

infarto de miocardio por oclusión de las arterias coronarias. Con estas adaptaciones el feto podía resistir casi cualquier cosa en el difícil e imprevisible trayecto hasta la vida exterior.

Evolución y asistencia al parto

Para casi todos los mamíferos el parto es un asunto solitario. Aun entre las especies más sociables, como es el caso de los otros primates, las hembras, cuando sienten las primeras contracciones, se retiran a la periferia del grupo para parir en soledad. En contraste, la respuesta humana al aumento en la intensidad de las contracciones uterinas es la búsqueda de compañía y la solicitud de ayuda. ¿Qué ventaja evolutiva supuso este novedoso comportamiento?

Cuando la madre *Homo sapiens* se dispone a parir, ya sea sentada, agachada o recostada, no puede manipular a su hijo y por eso no puede ayudarle a respirar limpiándole la boca o aliviarle de la presión del cordón umbilical, en el caso de que lo trajera liado al cuello. Si la propia madre pretendiera acelerar el parto o ayudar a su hijo, atascado, a base de girar y tirar de la cabeza podría, dada la extrema flexión dorsal de la columna, dañar la médula espinal de la criatura. La intervención de otro individuo que asistiera a la madre en la fase final del parto pudo reducir la mortandad tanto de la madre como de la cría; por esta razón esta conducta fue seleccionada por la evolución. La tendencia a buscar asistencia en el parto podría haber aparecido en los primeros miembros del género *Homo* o incluso antes, en los australopitecinos, en el momento en que se desarrolló la postura erecta, posiblemente hace más de cuatro millones de años.

Es decir, que aquellas hembras de homínidos que tenían la tendencia a buscar asistencia y compañía en el momento del

parto conseguían más hijos supervivientes y éstos serían más sanos que los hijos de aquellas hembras que seguían el patrón antiguo de parir en solitario. Las hijas nacidas con ayuda heredaban la tendencia a solicitar ayuda en el parto y éste fue un carácter que se fue acrecentando entre sus descendientes. No sabemos cuál era el mecanismo exacto que desencadenaba en estas hembras la respuesta de pedir colaboración en el parto. Probablemente debían de sentir alguna clase de emoción que ocasionaba este resultado favorable; pudo ser el miedo al dolor o algún tipo de ansiedad lo que las empujaba a solicitar ayuda.

Por supuesto que nuestros antepasados o incluso las mujeres actuales pueden dar a luz con éxito sin ninguna ayuda. Pero los estudios realizados señalan que incluso en las tribus más primitivas el parto rara vez es fácil y pocas veces se produce sin asistencia. El parto asistido es una costumbre universal en *Homo sapiens sapiens* y sin este patrón de conducta hubiera sido muy difícil que nuestro cerebro evolucionase.

Muchas mujeres conocen por su propia experiencia que empujar al feto a través de un canal de parto angosto y retorcido es una tarea difícil y a veces muy dolorosa. Hoy las cosas han cambiado con el avance de la obstetricia y la aplicación de la anestesia epidural, que permite a la madre disfrutar del parto de su hijo sin apenas molestias. Estas dificultades fueron el precio que las hembras de la especie humana tuvieron que pagar para que todos nos beneficiáramos de la locomoción bípeda y de nuestra inteligencia.

BIBLIOGRAFÍA

Lovejoy, C. O., «Evolución de la marcha humana», en *Los orígenes de la humanidad*, Prensa científica, Barcelona, 2000.

Rosenberg, K. R., y W. R. Trevathan, «La evolución del parto humano», *Investigación y Ciencia*, enero de 2002.

Trevathan, W. R., «Evolutionary obstetrics», en *Evolutionary Medicine*, Oxford University Press, Oxford, 1999.

En Internet:

Fisiología del parto normal con imágenes en color: *http://www.shef.ac.uk/~smtw/2000/og/og0911a.htm*

11

La lactancia y los cuidados infantiles

Somos como pájaros

En *Ardipithecus ramidus*, con un cerebro de menos de cuatrocientos centímetros cúbicos, las crías nacían bien desarrolladas, como en la mayor parte de los monos que viven en la actualidad. Nada más nacer se asían con fuerza a sus madres y en unos pocos días comenzaban a brincar a su alrededor. Pronto, antes del destete, ya participaban en su propia alimentación. La madre, que caminaba a cuatro patas y requería de sus cuatro extremidades para columpiarse por las ramas de los árboles, llevaba siempre a sus crías agarradas a su abundante pelambrera. La pauta de alimentación permitía que ésta se diera de manera continua, como en los primates de hoy: las hembras amamantaban a sus crías a demanda, cuatro o cinco veces cada hora y durante un minuto cada vez. A causa de la madurez de la cría, la madre *Ardipithecus ramidus*, como las primates de hoy, no necesitaba ninguna colaboración de otras hembras para sacar adelante a su hijo y, por supuesto, no recibía ninguna ayuda de los machos, ni tampoco del padre de la cría, en el hipotético caso de que se supiera quién era.

La situación de Lucy, unos millones de años más tarde, con un volumen cerebral de algo más de cuatrocientos centímetros cúbicos, debía de ser parecida a la descrita. Las crías de los *Australopithecus afarensis* nacerían bien desarrolladas como sugiere el tamaño del cráneo, similar al de los grandes monos de nuestros días. Un chimpancé al nacer posee un cerebro con más de un tercio de la capacidad del cerebro adulto. En pocas semanas serían capaces de vivir casi independientes. También la bipedestación proporcionó una ventaja adicional: el andar sobre dos patas liberó las manos, y la libertad de manipulación de las madres australopitecinas permitió un manejo más detallado y cuidadoso de los pequeños y, por lo tanto, una mayor probabilidad de supervivencia de las crías.

Pero cuando el tamaño del cráneo superó los mil centímetros cúbicos, en *Homo ergaster*, las crías tuvieron que nacer a medio desarrollar, auténticos seres prematuros, incapaces de valerse por sí mismos, que necesitaban de atentos cuidados durante mucho tiempo. Los niños recién nacidos actuales nacen sólo con el veinticinco por 100 de la capacidad cerebral del adulto. En esas condiciones de desvalimiento, los niños precisan recibir una atención especial; durante más de un año una cría de, por ejemplo, *Homo antecessor* no tenía ninguna posibilidad de valerse por sí misma, necesitaba cuidados continuos tras el nacimiento. Esta atención tuvo especial importancia en aquellas generaciones de homínidos que soportaron el vivir miles de años en plena glaciación. Se piensa que la evolución fue seleccionando a madres con unas especiales dotes para la crianza de sus hijos. Las madres cuyos patrones genéticos de conducta favorecían que abandonase a su cría en cualquier parte o que no la alimentara de forma conveniente lo pagarían con un escaso éxito reproductor y no tendrían oportunidad de trasmitir sus genes, incluidos los que determinaban la poca atención a sus crías.

Por estas circunstancias, los animales a los que más nos parecemos los humanos respecto al cuidado delicado y prolongado de nuestras crías son las aves. Los pollos nacen desvalidos y requieren cuidados y alimentación de sus padres durante mucho tiempo. En nuestra especie estos cuidados a las crías no sólo provienen de la madre sino que necesitaron la cooperación de parientes y por supuesto la del padre de la criatura.

Tamaño cerebral y grasa del niño

Los niños humanos son muy grasos al nacer. Ya hemos reiterado la enorme cantidad de energía que gasta un cerebro. Según los estudios más modernos, la abundante grasa con la que nacen nuestros niños sirve de garantía frente a una deficiencia en el aporte de energía.

El ser humano moderno al nacer tiene un cerebro de unos cuatrocientos centímetros cúbicos, que se duplica a los nueve meses y alcanza más de mil centímetros cúbicos a los dos años; muy cerca de los mil trescientos centímetros cúbicos que, de media, tiene un cerebro adulto. El cerebro en crecimiento del niño tiene un elevado consumo energético, de tal forma que llega a consumir entre el cincuenta y el sesenta por 100 del gasto metabólico total. Este enorme consumo de energía tiene que estar garantizado frente a cualquier incidencia y esto se logra gracias a la función del tejido adiposo que acumulan los recién nacidos.

La vida posnatal se inaugura con un brusco cese del aporte nutricional materno. En el instante del nacimiento, el flujo de nutrientes a través del cordón umbilical se corta, y el recién nacido precisa movilizar sus propias reservas de grasa para mantener sus requerimientos energéticos, hasta que reciba los nutrientes que le aportará la madre mediante la lactancia. Esto a

veces se retrasa hasta dos días según la tardanza en ocurrir el fenómeno de la «subida de la leche».

El depósito de grasa, si la alimentación es la adecuada, se incrementa en los primeros meses de vida. El pico de adiposidad se alcanza hacia los nueve meses de edad, cuando el contenido graso de un niño llega hasta un veinticinco por 100 de su peso corporal. Un niño por debajo de los cinco años utiliza entre el cuarenta y el ochenta por 100 de su metabolismo basal para mantener y desarrollar su cerebro; por eso las consecuencias de una pequeña deficiencia en el aporte energético pueden ser enormes. Luego la proporción de grasa en relación con el peso corporal se reduce hasta alcanzar el llamado «nadir prepuberal» entre los cinco y siete años de edad. A partir de ese momento se produce el desarrollo de los patrones de distribución de grasa androide y ginoide, característicos de cada género, como ya vimos.

La lactancia

La lactancia es una estrategia evolutiva mediante la cual las madres pueden continuar nutriendo a sus crías tras el nacimiento. Es característica de una clase completa de vertebrados: los mamíferos.

El acto de amamantar a una cría tan desvalida como la humana crea grandes problemas. La madre tiene que ocuparse de su hijo de forma activa, sujetando al niño contra su pecho y guiando sus acciones. Para que el proceso de amamantamiento se desarrolle con éxito es esencial que el reflejo de succión sea plenamente eficaz a los cuatro o cinco días del nacimiento. También es importante que exista el reflejo de búsqueda del pezón: cualquier lactante gira la cara hacia el lado en el que siente una presión en su mejilla.

Existe una relación estrecha entre los patrones de lactancia y la composición de la leche. Aquellas especies, como los seres humanos, en las que la leche materna tienen un bajo contenido en grasas y en proteínas, la lactancia tiene que proporcionarse mediante tomas muy frecuentes, bajos ritmos de succión y durante cortos intervalos de tiempo. La alimentación, como ocurre hoy en las tribus primitivas de cazadores recolectores, debía de ser casi continua, a demanda, con una respuesta casi inmediata de la madre frente al llanto del bebé, proporcionándole de tres a cuatro tomas por hora, mamando 1 o 2 minutos cada vez. Esto exige una proximidad constante entre la madre y su cría. Las especies cuya leche tiene un elevado contenido proteico y graso, por ejemplo los bóvidos, muestran patrones más espaciados de lactancia y las crías pueden alejarse más de sus madres.

Las hembras de los homínidos llevaban al niño siempre encima en un contacto directo, casi continuo. Madre e hijo se detectaban mutuamente mediante el tacto, el color, el calor, el olor y el movimiento. La lactancia establece una estrecha relación entre la madre y su hijo. Cuando el niño está mamando, la cara de su madre está a la distancia a la que los ojos del niño pueden enfocarla con precisión. Los recién nacidos son miopes y su distancia focal no supera los treinta centímetros. Los recién nacidos expuestos al sonido del latido cardiaco de su madre ganan peso mejor que los niños no expuestos. La preferencia de las madres de cargar a sus pequeños sobre el lado izquierdo de su pecho (donde se encuentra el corazón) puede estar relacionado con esta circunstancia.

La lactancia en las condiciones que tuvieron que soportar nuestras antecesoras estaba sujeta a numerosas influencias ambientales. El principal factor era, desde luego, la propia nutrición materna. Pero también las condiciones climáticas: un calor excesivo, con sudoración y poco acceso al agua, podría

producir una alteración del balance hídrico de la madre y reduciría el volumen de la secreción láctea. Los patrones laborales de la madre también pueden afectar la lactancia al ocasionar fatiga, deficiencia de nutrientes, y al alterarse los tiempos de dar de mamar. Finalmente, numerosos procesos patológicos, como infecciones de la madre o del niño, pueden afectar a la lactancia.

La lactancia y el control de la fertilidad

La lactancia induce un aumento de la secreción de prolactina, que es una hormona que inhibe la ovulación; es la llamada amenorrea lactacional. Succiones frecuentes del pezón mantienen elevadas las concentraciones de prolactina y producen en el hipotálamo una inhibición de la secreción pulsátil de la hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH), la cual inhibe la producción de estas hormonas (FSH y LH) y también el ciclo ovárico. Mediante este mecanismo, durante la lactancia se crea un periodo adicional de esterilidad en la mujer, lo que permite espaciar los nacimientos y contribuye al desarrollo del niño evitando la llegada de hermanos competidores, ya que esta posibilidad ocasionaría la aparición de madres con un número excesivo de hijos pequeños, de distintas edades, mal alimentados y con pocas posibilidades de sobrevivir.

Por ejemplo, las madres de la población de los ¡kung del Kalahari, que amamantan a sus hijos a demanda, alrededor de cuatro veces a la hora, mantienen elevados niveles de prolactina y como resultado desarrollan una anovulación lactacional completa, es decir, no tienen ovulaciones mientras dura la lactancia. Este mecanismo de infertilidad durante la lactancia se ha perdido en las mujeres que habitan países desarrollados. Numerosos factores son responsables, entre ellos el excesivo

espaciado de las tomas, que ocasiona que no se realice la estimulación del pezón con una cadencia suficiente para mantener frenado el eje hipotálamo-hipofisario. Hoy las mujeres lactantes pueden ovular y volver a quedarse embarazadas al poco tiempo de haber parido.

La leche materna

La composición de la leche varía entre diferentes especies y siempre está diseñada para proporcionar al animal lactante las mejores condiciones para su desarrollo. Durante las primeras horas o días tras el parto los pechos de la madre segregan el calostro, un líquido acuoso con pocos nutrientes pero lleno de sustancias protectoras y que prepara el aparato digestivo del recién nacido para su primera alimentación oral.

La leche humana contiene una baja densidad de nutrientes: grasa, proteínas, minerales y vitaminas. Destaca el azúcar lactosa, que tiene que fabricar la mujer lactante en sus propias glándulas mamarias a partir de la glucosa. El coste total de la lactancia en humanos, en términos energéticos, es elevado. La madre tiene que aportar nutrientes para las necesidades de mantenimiento de funciones corporales y para el crecimiento del niño a lo largo de un dilatado periodo de tiempo; ya se ha reiterado que en la especie humana la inversión energética maternal en cada niño es muy elevada.

Además de los nutrientes propiamente dichos, la leche materna aporta agentes que afectan al crecimiento, al desarrollo y a las funciones del aparato digestivo y a sus defensas inmunológicas. También siembra en el tubo digestivo de su hijo la colonia de bacterias que pueblan nuestro intestino. Los recién nacidos humanos, como los de otras especies, son deficientes en muchas funciones inmunológicas. A pesar de la presencia mu-

cho antes de nacer de todos los componentes de la respuesta inmunitaria en el feto, y las evidencias de que algunos anticuerpos atraviesan la placenta, la respuesta inmunológica funcional en el recién nacido humano sólo madura entre los seis y los doce meses de vida, y frente a algunos antígenos no se reacciona hasta los dieciocho meses. Este retraso en el desarrollo de las defensas se compensa con el sistema inmunológico de la leche materna. Como resultado, los niños amamantados por sus madres tienen un menor riesgo de infecciones respiratorias o intestinales que los sometidos a lactancia artificial. Esto ha requerido una evolución acoplada y coordinada de los patrones de desarrollo del sistema inmunológico en los primeros momentos de la vida posnatal del bebé y de las funciones inmunológicas de la glándula mamaria.

Numerosas adaptaciones evolutivas producen acciones beneficiosas no nutritivas de la leche humana sobre el recién nacido. En la leche humana existen agentes defensivos que compensan directamente el retraso del desarrollo de aquellos mismos agentes en el bebé receptor. En la leche hay agentes que inician las funciones defensivas en el recién nacido. También existen agentes que son capaces de modificar el aparato digestivo para adaptarlo a la vida fuera del útero, que incluyen la promoción del crecimiento de la flora intestinal del niño y el aumento de la supervivencia de los agentes defensivos en el aparato digestivo del lactante.

QUIEN NO LLORA, NO MAMA

El llanto de una criatura desvalida tuvo una gran importancia en la evolución de nuestra especie: los padres que poseían los genes que les forzaban a responder más amorosamente al desamparo de sus hijos los criarían con más eficacia, aseguran-

do así la propagación de sus propios genes, incluido el paquete de genes responsables del comportamiento amoroso hacia sus crías.

La extraordinaria propensión al llanto de los niños de la especie humana es una característica que fue seleccionada porque beneficiaba la nutrición del niño y garantizaba un mayor éxito reproductivo. El llanto es una señal de necesidad de energía, y su función más evidente es la de mantener la proximidad del recién nacido con sus padres y reclamar cuidados y comida. Resulta curioso que si aplicamos dos gotas de una disolución de sacarosa (azúcar de mesa) sobre la lengua de un bebé que llora, éste se calma durante unos minutos. El mecanismo de esta respuesta refleja está vehiculado por vías nerviosas centrales que utilizan como neurotransmisores los opioides endorfinas. Los bebés hijos de madres dependientes de metadona no responden al efecto apaciguante de la sacarosa.

Por otra parte, el llanto es un despilfarro de energía metabólica. El llanto en los niños también tiene una función termorreguladora porque genera calor. El grito, es decir, el aumento de la presión del aire en los pulmones cuando se cierra parcialmente la laringe y luego se deja escapar con fuerza el aire acumulado, evolucionó en las crías de los mamíferos para facilitar la recuperación de la hipotermia cuando se separaban del calor del cuerpo de su madre.

En estudios realizados en sociedades de cazadores recolectores se ha comprobado que se obtiene una respuesta inmediata de lactación al llanto del bebé. Este patrón de conductas maternales indulgentes parece ser característico de los primates hominoideos. Las hembras de chimpancés en libertad lactan cada veinte minutos y durante uno o dos minutos. Estudios sobre el llanto de los bebés en la etnia ¡kung, cazadores recolectores que habitan los desiertos de Bostwana, representan las costumbres de la madres que vivieron hace miles de años. Las

madres cargan constantemente a sus hijos en sus brazos o en un «sling». De esta manera, los niños permanecen en contacto permanente con el cuerpo de su madre y siempre están erguidos en lugar de acostados. Se les alimenta de forma continua, aproximadamente unas tres o cuatro veces cada hora y durante uno o dos minutos cada vez. Las madres son muy sensibles al llanto de sus hijos; en un noventa y dos por 100 de las veces se responde inmediatamente al lloro de su hijo y en el tiempo de diez segundos. Choca esta conducta con las recomendaciones en las sociedades occidentalizadas que promueven que hay que tardar en responder o que incluso no hay que responder al llanto del niño, pues se piensa que así se educa mejor y se «endurece» a la criatura. Aunque esta postura resulta más cómoda en nuestra forma de vida actual, es incorrecta desde el punto de vista de la evolución biológica.

El llanto excesivo de nuestros bebés y la propensión a padecer los llamados «cólicos» pueden ser una manifestación de la discordancia entre la predisposición a llorar de nuestros niños, definida evolutivamente en nuestra especie, y las prácticas a que nos obliga nuestra forma de vida desarrollada y occidental.

El contacto permanente de la madre con su bebé, característico de las sociedades primitivas, previene otros problemas del lactante que se dan en nuestro mundo desarrollado. Una de las grandes preocupaciones de cualquier madre es el temor de ir a despertar a su bebé y encontrarlo muerto en la cuna. Se denomina «síndrome de muerte súbita», y tiene gran importancia social, ya que la muerte súbita del recién nacido es hoy, en los países desarrollados, una de las principales causas de muerte del lactante. Su causa es desconocida, aunque posiblemente esté involucrada la inmadurez de los centros nerviosos que controlan el ritmo respiratorio. Si observamos con cuidado a un lactante que duerme, veremos cómo su respiración es irregular, intercalando angustiosos segundos de apnea (sin respi-

rar) que normalmente se resuelven con una amplia respiración, un sonoro suspiro de la criatura y el reinicio de otro ciclo.

La muerte súbita del lactante es más frecuente en sociedades desarrolladas que en las culturas tribales, y se interpreta que el contacto íntimo con la madre previene esos accidentes. Es un hecho que la muerte súbita del bebé se reduce drásticamente cuando duerme junto a su madre en íntimo contacto cuerpo con cuerpo.

Debemos considerar otra cuestión de gran importancia, como es la relación entre llanto y maltrato del lactante. El maltrato de las crías es un fenómeno que se observa en primates, humanos y no humanos. Diversos estudios llevados a cabo en monos en cautividad indican que del dos al diez por 100 de las crías sufrían maltrato por su madre biológica. Es una cifra similar a la que arrojan los diferentes estudios realizados en personas pertenecientes a sociedades desarrolladas. Tanto en los monos como en los seres humanos el maltrato infantil parece estar determinado por múltiples factores: carga genética, experiencias previas de abusos sobre otros recién nacidos, gran ansiedad de la madre y entorno estresante.

Las madres maltratadoras responden menos positivamente al estímulo del llanto de sus hijos que las madres no maltratadoras. Aunque el llanto repetido y reiterativo podría aumentar la probabilidad de maltrato, los numerosos estudios demuestran que el llanto del niño por sí mismo no parece ser el factor principal desencadenante del maltrato.

El destete

Todas las hembras de los mamíferos se enfrentan a un dilema reproductor: ¿destetar pronto o tarde a las crías? La lactancia requiere grandes demandas de energía materna y retrasa las

posibilidades de una nueva concepción. Pero un destete precoz incrementa el riesgo de enfermedades, incluso la muerte, porque aumenta el riesgo de infecciones y de enfermedades parasitarias, que si no matan a la cría pueden ocasionar un retraso en su crecimiento y en su desarrollo.

Los seres humanos que viven en condiciones tradicionales y sujetos a una fertilidad natural suelen lactar a sus hijos entre dos y tres años. Es decir, destetan a sus crías mucho más pronto que lo hacen el resto de primates; por ejemplo, los chimpancés o los orangutanes amamantan a sus crías durante cinco y siete años respectivamente. Si consideramos que la selección natural debe favorecer la supervivencia de la cría, y las crías humanas nacen más inmaduras que las de los otros primates y tardan más tiempo en valerse por sí mismas, entonces el destete en los humanos debería ocurrir más tarde que en los otros primates. ¿Qué es lo que favorece la selección natural con esta lactancia tan breve en humanos? Una posibilidad, apuntada recientemente por G. E. Kennedy, en 2004, sugiere que únicamente con la lactancia, la madre no es capaz de mantener los requerimientos del desarrollo cerebral del niño más allá de un año. Así, un destete precoz, junto con un suplemento mediante algunos alimentos más nutritivos, sería esencial para el desarrollo de nuestro cerebro en los primeros años de vida.

El destete ocurre a su tiempo en condiciones naturales. Una duración excesiva de la lactancia podría inhibir la reproducción y poner en peligro la especie. Esto se ha visto en poblaciones de chimpancés en las que las hembras llegan a amamantar a su cría durante cinco años y esto ocasiona una reducción tal de la reproducción que lleva al grupo al borde de la extinción.

Probablemente en nuestras antecesoras se desarrolló un proceso de inicio del destete de manera precoz, y se fue sustituyendo la dependencia nutricional exclusiva de la madre por una nutrición compartida por otros progenitores y la coopera-

ción de las abuelas y posiblemente de las tías estériles. Estas hembras colaboradoras premasticaban los alimentos que luego regurgitaban para proporcionar al niño un alimento rico en calorías y micronutrientes, fácil de digerir por un aparato digestivo aún inmaduro. Aparecería así un periodo de niñez incipiente y las madres, al espaciar la lactancia, podrían preñarse de nuevo y proporcionarían el suplemento nutricional imprescindible para el desarrollo del cerebro en el niño.

Esta circunstancia exigió a nuestros antecesores homínidos una especialización en la alimentación de sus crías en los primeros años de vida, mediante alimentos de elevada densidad energética, fáciles de masticar y de digerir. De nuevo surge la necesidad de abandonar los patrones de alimentación con vegetales y recurrir a los alimentos animales. Es posible que una hembra de *Homo ergaster*, como una mujer vegetariana hoy día, pudiera amamantar y nutrir perfectamente a su hijo siguiendo una dieta estricta en alimentos vegetales, pero sólo si la disponibilidad de estos alimentos permitiera una abundancia y variedad tal que garantizase el aporte de todos los nutrientes necesarios y en las proporciones requeridas. Esta circunstancia debía de darse en muy raras ocasiones en plena sequía, hace un millón de años.

BIBLIOGRAFÍA

Ballabriga, A., y A. Carrascosa, *Nutrición en la infancia y en la adolescencia*, Ergón, Madrid, 1998.

Barr, R. G., «Infant crying behaviour and colic: an interpretation in evolutionary perspective», en *Evolutionary Medicine*, Oxford University Press, Oxford, 1999.

Goldman, A. S., «Modulation of the gastrointestinal tract of infants by human milk. Interfaces and interactions. An evolutionary perspective», *Journal of Nutrition*, 130, 2000, pp. 426- 431.

Hofer, M. A., «Unexplained infant crying: an evolutionary perspective», *Acta Paediatrica*, 91, 2002, pp. 491-496.

Kennedy, G. E., «From the ape's dilemma to the weanling's dilemma: early weaning and its evolutionary contex», *Journal of Human Evolution*, 48, 2005, pp. 123-145.

Maestripieri, D., T. Janovic y H. Gouzoules, «Crying and infant abuse in rhesus monkeys», *Child Development*, 71, 2000, pp. 301-309.

Prentice, M. A., y A. Prentice, «Evolutionary and environmental influences on human lactation», *Proceeding of the Nutrition Society*, 54, 1995, pp. 391- 400.

En Internet:

http://www.mimatrona.com/lactancia.html

http://www.mimatrona.com/lactancia.html

Del Río, G. F., y M. Sesin, *Conceptos actuales sobre lactancia materna*: *http://www.redmedica.com.mx/gfr/calm_i.pdf*

12

La familia y el amor

La infancia

La niñez es un rasgo exclusivo del género *Homo*. Comienza al terminar la lactancia, que es periodo de responsabilidad nutricional exclusiva de la madre. Un niño depende de sus progenitores o de otros individuos del clan para su alimentación o su protección. En cualquier otra especie de mamífero, incluidos los primates, las crías, a los pocos días de nacer, ya se alimentan por su cuenta y pueden correr o trepar para escapar de los predadores. Los niños humanos, no.

La niñez está diseñada por la evolución como el periodo en el que se culmina el desarrollo extrauterino del cerebro: se produce el crecimiento rápido del encéfalo y de los huesos del cráneo. En dos años el tamaño del cerebro pasa de los cuatrocientos centímetros cúbicos, al nacimiento, a más de mil. Luego durante los cinco años siguientes se alcanza el noventa por 100 de todo el cerebro, como ya se ha comentado antes. El desarrollo posnatal se realiza exclusivamente mediante el establecimiento de las conexiones neuronales, ya que la dotación completa de células nerviosas se posee desde el nacimiento. Un

recién nacido de la especie humana posee unos cien mil millones de neuronas, de las cuales la mayor parte no están conectadas entre sí y no pueden funcionar por cuenta propia. El establecimiento de conexiones formando redes complejas de billones de sinapsis va parejo al descubrimiento del mundo, al aprendizaje. En este periodo el niño aprende a alimentarse, a caminar, a controlar los esfínteres, a hablar, a descubrir las partes de su cuerpo, a desarrollar la fantasía y la imaginación. Es cuando se impregna de las normas de educación y de moralidad, de la cultura, de las tradiciones y de las reglas del juego de la sociedad a la que pertenece.

Nuestros niños tienen otras limitaciones exclusivas de nuestra especie. Tienen unos dientes de leche, provisionales, con una capa de esmalte más fina y raíces más cortas y delicadas que persisten durante años, mientras que en algunas especies de primates esta dentición provisional sólo se alcanza durante la lactancia. En condiciones de vida primitiva, esta circunstancia limita el procesamiento de los alimentos duros, como raíces, carne etc, hasta que el niño no muda esos dientes de leche. Por otra parte, nuestros niños poseen un aparato digestivo inmaduro y corto, por lo que necesitan alimentos de fácil digestión, muy calóricos y ricos en nutrientes. Ésta puede ser una razón del rechazo casi general de los niños a los alimentos vegetales y su apetencia innata hacia las proteínas y los dulces.

A lo largo de la niñez, la cría de homínidos aprendía, poco a poco, a alimentarse por sí misma. Este periodo de dependencia nutricional dura aproximadamente desde el destete hasta los siete años. Los niños de los grupos de cazadores recolectores que viven en la actualidad comienzan a conseguir comida a distintas edades, en diferentes cantidades y calidades, según la disponibilidad, la dificultad de conseguirla y los peligros que conlleve lograr los alimentos. Los niños pequeños de la tribu Ache de Paraguay son bastante hábiles recogiendo frutas pequeñas

del suelo, pero no logran conseguir alimentos más consistentes hasta los diez años de edad. De este modo los niños cazadores recolectores permanecen energéticamente dependientes de individuos mayores, en cierta medida, hasta la quincena.

La larga niñez favorece la acomodación del organismo a un amplio rango de ambientes distintos, de circunstancias diversas. Las especies que alcanzan la madurez sexual poco tiempo después del destete tienen menos oportunidades para adaptar su organismo a diferentes condiciones. Cualquier cambio supone la muerte de un número elevado de individuos en las poblaciones de estas especies. Una infancia larga sería un rasgo beneficioso que incrementaría la probabilidad de mayor reproducción y por tanto de dispersar el acervo genético.

La pareja y los cuidados parentales

¿Por qué los hombres y las mujeres de todas las culturas forman asociaciones sexuales y parentales duraderas, mientras que la mayoría de los primates cuentan con sistemas de relación muy diferentes? Ninguna forma de cultura humana es tan extrema que pueda siquiera compararse con el sistema social de los otros primates. Ni aun la sociedad humana más polígama está organizada exclusivamente en harenes que pasan de un macho a otro, como sucede con los gorilas. Ni siquiera las comunas hippies del amor libre han funcionado jamás como lo hace una comunidad promiscua de chimpancés. La razón evolutiva de estas diferencias reside en que nuestros ancestros necesitaron desarrollar pautas de conducta peculiares, como la forma más eficaz de obtención de alimentos y del cuidado de las crías.

En el entorno natural de hoy o de hace cientos de miles de años no resulta fácil criar a dos o tres niños. Ni siquiera a uno

sólo. Durante años un niño no puede caminar por sí mismo largas distancias, y pesa demasiado para cargar con él durante las jornadas de nomadismo o de búsqueda de alimento. Ya hemos considerado, desde todos los ángulos posibles, que un niño resulta tan costoso desde un punto de vista energético que necesita más de un individuo para cuidarlo. Las hembras de los homínidos necesitaron el compromiso afectivo de los machos para poder atender a la maternidad.

Los cuidados parentales son complementarios de la atracción de la madre por su hijo y han evolucionado simultáneamente para proporcionar a los individuos que poseen esos genes una ventaja de supervivencia. Aquellos padres o parientes en los que su genoma no les motivase para atender a la criatura no habrían tenido descendencia y por lo tanto esos genes de despreocupación por los niños se habrían extinguido.

Hay buenas razones para suponer que una horda promiscua como la del chimpancé nunca fue típica de los representantes del género *Homo*. La especie humana se ha adaptado a través de su fisiología a un nexo de pareja duradero. Los antropólogos manifiestan que no existe ningún grupo humano actual sin pareja matrimonial estable. En sociedades de cazadores recolectores, la mayor parte de los matrimonios polígamos son matrimonios asistenciales: un hombre se ve obligado a acoger y a tomar por esposa a más de una mujer, por ejemplo, a la viuda de su hermano. La mortalidad de los machos ha sido siempre más precoz que la de las hembras, y las viudas más abundantes que los viudos; por eso, los emparejamientos altruistas y solidarios serían muy frecuentes.

Las mejores circunstancias para la reproducción de los homínidos requerirían la producción de un número relativamente pequeño de recién nacidos, cuya supervivencia se lograría mediante una especial atención y cuidados proporcionados por todos los miembros del clan; al menos durante la primera eta-

pa de su desarrollo. Estas actitudes tendrían otros efectos positivos secundarios. Un mayor tiempo de dedicación al cuidado y protección de las crías, que van a permanecer durante más tiempo en el seno del clan, estrecharía los lazos de unión entre los individuos del grupo y potenciaría un mayor grado de socialización. De ello se derivarían también ventajas para la predación social y para la defensa común contra el ataque de los predadores.

Los genes que favorecen conductas de cooperación recíprocas, de comunicación, de protección y de cuidado hacia otros miembros del grupo, especialmente los jóvenes, siempre han sido seleccionados. En este sentido es interesante considerar que durante la niñez hay un retraso del crecimiento del cuerpo en su conjunto, excepto la cabeza, y sobre todo un retraso en el desarrollo de los huesos de la cara, lo que proporciona un permanente aspecto infantil, una apariencia frágil y desvalida que mueve a los adultos a proteger a las crías y a proporcionarles alimentos. Este mecanismo automático (neotenia) también lo encontramos en nuestros modelos, las aves: ningún pájaro adulto resiste el pico abierto, coloreado y gritón de un polluelo con hambre. Por esa razón, el mantenimiento de la niñez es un rasgo evolutivo característico de nuestra especie. No olvidemos que la selección natural favorece a los individuos cuyas progenies alcanzan la edad reproductiva; con el fin de evitar la extinción de los propios genes, es esencial cuidar de los más jóvenes, que son los nuevos envases que los portan.

El altruismo genético y la selección parental

Ya se ha señalado que el egoísmo de los genes, en el sentido que tan magistralmente describió R. Dawkins, obliga a un organismo a cometer cualquier tipo de crueldad (infanticidio) o

a protagonizar el acto más heroico (un abuelo que pierde la vida por salvar la de su nieto), siempre que se trate de favorecer la transmisión y la dispersión de sus propios genes.

Se conoce como «altruismo» toda conducta que favorece a un individuo en detrimento del que la realiza. El altruismo genético se refiere al sacrificio que hace un individuo, perdiendo incluso su propia vida, para salvar los genes que porta un descendiente. Estos mecanismos evolutivos en los que no sólo se tiene en cuenta al individuo, sino que también se incluye a sus parientes, se denomina «selección familiar o parental». Un individuo cooperará en el éxito reproductor de sus parientes si los beneficios que obtiene exceden al coste. Los beneficios siempre son genéticos, el incremento del número de copias de sus propios genes en la siguiente generación, que resultan de su actividad cooperativa altruista. Así que para que el altruismo pueda evolucionar por selección natural, tiene que darse el caso de que el beneficio en términos genéticos, es decir, la probabilidad de pasar genes propios a la siguiente generación a través de la familia, compense el coste que supone renunciar a dedicar ese mismo esfuerzo a fabricar sus propias copias.

Se harán mayores esfuerzos altruistas cuanto mayor sea el grado de parentesco entre los individuos. Los miembros de un mismo clan o familia cooperan entre sí y se profesan atenciones altruistas porque comparten muchos genes en común. Así, podemos explicar el cuidado parental en los términos de la hipótesis general del egoísmo genético. El progenitor consume energía cuidando de la progenie, pero no es un desperdicio, ya que con ello facilita la supervivencia y la probable reproducción de sus hijos, los envases que albergan parte de sus genes; de modo que a través de sus hijos aumenta el éxito reproductivo de sus propios genes. Cuanto más cercana sea la relación de parentesco entre los beneficiarios y el altruista, y

mayor sea el número de beneficiarios, mayor será el riesgo y el esfuerzo que el altruista estará dispuesto a invertir para que salgan beneficiados sus genes, aunque él mismo pierda la vida en la acción.

Una de las manifestaciones más claras del altruismo genético es el amor maternal. La relación genética entre una madre y su cría es del cincuenta por 100. Cada vez que saca adelante a un hijo consigue que la mitad de sus genes pasen a la siguiente generación. Cuantos más hijos tenga una madre, mayor será su éxito reproductivo, en términos biológicos, se entiende. El esfuerzo, fruto de su altruismo, lo vemos en la producción del óvulo, la gestación, el parto, la lactancia y los cuidados de la cría. El altruismo materno o amor de madre tiene su origen en el egoísmo de los genes de la madre, que necesitan que se críen muchos hijos para propagar sus genes.

Se cuenta que el eminente biólogo Haldane saboreaba una pinta de cerveza en un *pub* inglés en compañía de algunos compañeros. Debatían sobre el problema del altruismo. Alguno le preguntó si él estaría dispuesto a dar la vida por la de su hermano. Haldane meditó durante unos segundos y respondió: «Por un solo hermano, no; pero sí por dos hermanos y ocho primos». Claro: era el número de parientes que garantizaban la supervivencia de la totalidad de sus genes.

El altruismo genético es un poderoso mecanismo en la evolución de las especies y rige el comportamiento parental y familiar. Y está implícito en nuestras leyes y en nuestras costumbres. Uno de los ejemplos del reconocimiento social del egoísmo genético se plasma en que la sociedad premie con medallas y honores a quien arriesga su vida por salvar la de un extraño (que no tiene sus genes), pero no reconoce de la misma manera a quien salva la de un pariente cercano.

El amor

Las hembras de los homínidos, en especial las del género *Homo*, tuvieron que desarrollar una tendencia a la formación de grupos familiares estables. Era necesario que la selección natural fomentase las conductas que tendían a mejorar el comportamiento familiar y a repartir los deberes entre el padre y la madre. Había que seleccionar y crear, para ello, lo que podíamos denominar «la facultad de enamorarse».

Uno de los grandes enigmas relacionados con la sexualidad y la reproducción en la especie humana es la tendencia a emparejarse. Sí; alguien dirá: eso se debe al amor. Pero ¿es evolutivamente útil el amor? Ese patrón de comportamiento tan complejo y al que llamamos «amor» ha evolucionado como una forma de vínculo entre la pareja y, desde un punto de vista evolutivo, ha demostrado tener éxito. Las parejas o grupos familiares que criaban cooperativamente a sus crías engendraban más hijos, que sobrevivían con más facilidad y llegaban a reproducirse y transmitir en sus genes la tendencia a enamorarse, que se incrementaría en las generaciones venideras. No obstante, esta tendencia al emparejamiento que caracteriza hoy a los seres humanos tenía que estar fundamentada en necesidades primarias surgidas en los homínidos más antiguos.

Una de estas cuestiones, que ya debía de tener su relevancia en *Homo ergaster*, era la función social de la cópula. La hembra únicamente ovulaba en un momento determinado del ciclo y esa ocasión podía pasar desapercibida hasta para ella misma, ya que no se acompañaba de ninguna manifestación externa visible. La selección natural tuvo que fomentar los comportamientos que tendían a copular cualquier día del año y, evidentemente, las cópulas, por coincidir con periodos estériles en su mayor parte, no tenían función procreadora. La disponibilidad

permanente de la hembra y la potenciación del orgasmo no sólo tenían como objetivo producir retoños, sino reforzar los lazos entre la pareja, gracias a los mutuos goces entre los compañeros sexuales. Posiblemente ya entonces, como les ocurre hoy a muchas mujeres, durante la ovulación, el aumento de los niveles de hormonas en sangre estimulaba su apetencia sexual.

El coito frente a frente, la piel desnuda y las manos manipuladoras brindaron a los homínidos un campo mucho más amplio para el estímulo sexual, potenciando las sensaciones placenteras más allá del mero contacto entre los cuerpos. Se fue seleccionando un elaborado comportamiento precopulativo, mediante roces, presiones, caricias, así como todo un repertorio de órganos especializados en captar sensaciones, como los labios, los lóbulos de las orejas, los pezones, los órganos genitales, llenos de terminaciones nerviosas muy sensibles. A todo ello se sumó la facultad de comunicar una gran diversidad de matices a través de la expresión facial. Decenas de músculos adquirieron la responsabilidad de dotar de una infinita gama de movimientos la carne que rodea la boca, la nariz, los ojos, las cejas y la frente.

Otro de los mecanismos que sustenta este comportamiento que llamamos instinto amoroso reside en algunos genes y en ciertos neurotransmisores que operan en determinadas áreas cerebrales: la oxitocina y la vasopresina. Estas sustancias son neurotransmisores y también hormonas que cumplen importantes funciones aparentemente sin nada que ver con el amor. La vasopresina controla la eliminación de agua por el riñón; también se le llama hormona antidiurética o ADH. La oxitocina tiene dos acciones fundamentales sobre la musculatura lisa: una, al estimular la contracción de la musculatura lisa uterina, interviene en el mecanismo del parto; la otra, al actuar sobre la fibra lisa que forma los conductos galactóforos de la mama, y que al contraerse eyectan la leche hacia el exterior de la mama.

Estas neurohormonas ejercen también importantes acciones en relación con las relaciones sexuales. Cuando la oxitocina y la vasopresina se inyectan dentro del cerebro de un ratón macho se desencadena una erección, y si el cerebro es de una hembra, ésta adopta la postura llamada de lordosis, que indica receptividad para la cópula. En hombres y mujeres se produce un aumento de los niveles de oxitocina tras la masturbación.

La relación de estas hormonas con el enamoramiento se descubrió mediante estudios en dos especies de ratones: los ratones de campo, que guardan una gran fidelidad a una sola pareja, y los ratones de monte, cuyas hembras se aparean sin recato con cualquier macho que pase cerca de ellas. Los ratones de campo (enamoradizos) mostraban un mayor número de receptores a la oxitocina en diversas zonas del cerebro que los ratones promiscuos. En los ratones de campo la inyección de oxitocina desencadenaba comportamientos monogámicos, de preferencia por una pareja, y agresividad a otros machos. Esto no sucedía en los ratones de monte. Es evidente que la mayor respuesta a la oxitocina ocurría en el cerebro en donde existía un mayor número de receptores para la neurohormona y que se asociaba con comportamientos monogámicos y enamoradizos.

¿Se enamora la gente cuando sus receptores de oxitocina y vasopresina se estimulan en alguna parte de sus cerebros? A una persona que dice estar enamorada le hacen un escáner y se comprueba que, cuando contempla la foto del ser amado, ciertas partes de su cerebro brillan más que cuando mira la foto de un desconocido. Al parecer, cuando la oxitocina se une a sus receptores se activan mecanismos en el sistema límbico, sobre todo una formación que se llama amígdala medial, que hace que se estimule el sistema de la dopamina, que a su vez desencadena sensaciones de aprecio a la persona amada.

A ciegas y de una forma automática y natural, nos sentimos atraídos por quienquiera que se encuentre cerca cuando los receptores de la amígdala medial se estimulan. El refuerzo reiterado de estas estimulaciones afianza los lazos y favorece el amor perdurable.

Es decir, el amor es un instinto que ha evolucionado por medio de la selección natural y es parte de nuestra herencia, como mamíferos que somos, igual que hemos heredado las cuatro extremidades o el pelo. Y no debemos olvidar que una regla general en biología es que la expresión de un instinto innato viene determinada, a veces, por la acción de un estímulo externo.

La fidelidad

Debido al largo periodo de dependencia de las crías, las hembras debían permanecer en los alrededores del hogar estable, al cuidado de una prole de diferentes edades, que necesitaba de atención permanente y de una vigilancia continua. El macho se veía forzado a salir en busca de comida o de piedras para fabricar útiles; pero dejar a sus hembras sin protección contra los intentos de cualquier otro macho que pudiera rondar por allí era algo inaudito para las teorías del egoísmo genético.

Vemos, por tanto, que el macho y la hembra de los homínidos tenían que enamorarse para así guardarse fidelidad. Esto es corriente en algunas especies animales, tanto en mamíferos como en aves. En las aves, cerca del noventa y cinco por 100 de las especies conocidas son monógamas. Los lazos familiares estrechos tienen que ver siempre con la necesidad de cooperación para sacar adelante a las crías. Como los humanos, las aves tienen unas crías que necesitan de grandes cuidados durante largos periodos de tiempo.

La fidelidad como adquisición etológica proporcionó una

gran ventaja a nuestros antecesores: las hembras garantizaban el regreso y apoyo de sus machos, a causa de la recompensa del goce sexual, y podían dedicarse a sus crías y a recoger vegetales por los alrededores. Los machos estaban seguros de la fidelidad de sus hembras y, por consiguiente, podían dejarlas solas para salir a sus excursiones cinegéticas.

BIBLIOGRAFÍA

Fisher, H., *¿Por qué amamos?*, Santillana, Madrid, 2004.

Gribbin, J., y M. Gribbin, *La diferencia del uno por ciento*, Pirámide, Madrid, 1990.

Ridley, M., *¿Qué nos hace humanos?*, Taurus, Madrid, 2003.

Symons, D. *The Evolution of Human Sexuality*, Oxford University Press, Nueva York, 1981.

En Internet:

Miller, G. F., *A review of sexual selection and human evolution: how mate choice shaped human nature*:
http://www.unm.edu/~psych/faculty/mate_choice.htm

Norman, J., *The evolutionary Theory of sexual attraction*: *http://www.umkc.edu/sites/hsw/other/evolution.html*

Tod, P. M., y G. F. Miller, *Parental guidance suggested*: *http://www-abc.mpib-berlin.mpg.de/users/ptodd/publications/93pgsug/93pgsug.pdf*

13

La Dama Roja

El origen de los humanos modernos

En 1822, el reverendo William Buckland exhumó en la cueva Paviland de Gales un esqueleto femenino datado en más de veinte mil años de antigüedad. A esta antecesora nuestra la habían enterrado con un ceremonial que sugería respeto, distinción y posiblemente afecto. El esqueleto de esta mujer cromañón estaba recubierto de ocre rojo: la Dama Roja.

Los paleoantropólogos de todo el mundo se encuentran enzarzados en un apasionado debate sobre cómo y dónde surgieron los primeros humanos modernos, los *Homo sapiens sapiens*, es decir, nosotros. Nuestra especie es muy homogénea en sus características: somos muy similares a pesar de lo que pudiera parecer a causa de las diferencias en el color de la piel o en los rasgos faciales de las diferentes poblaciones. Tanto los datos de la genética como los de la paleoantrolopogía sugieren que los seres humanos, como especie, procedemos de una población muy reducida de antepasados que vivían en África hace unos cuatrocientos mil años. Realmente África ha sido la cuna de casi todas las especies de homínidos que han vagado por el pla-

neta. Este vasto y aislado laboratorio natural moldeó las especies de homínidos durante interminables ciclos de desertización y de reverdecimiento.

Los estudios genéticos actuales permiten conocer la edad evolutiva de una determinada especie y el lugar donde se originó. La edad se calcula por el número de variaciones genéticas encontradas. Puesto que las variaciones por mutación se van acumulando a lo largo del tiempo, las especies que se hubieran separado hace miles de años habrían acumulado mayor número de diferencias en su genoma. Cuanto menor es el número de estas variaciones genéticas encontradas entre los individuos de una misma especie, más reciente se considera su origen. Si se comparan, por ejemplo, los genomas de individuos pertenecientes a poblaciones muy alejadas, como puede ser un aborigen australiano, un indígena bosquimano y un noruego, el número de diferencias acumuladas en sus genes nos da una idea del tiempo que ha pasado hasta llegar al antecesor común a esos tres individuos. Por otra parte, el origen geográfico de una especie se sitúa allí donde la variación genética es mayor, porque en las regiones donde es menor, se supone que la especie acaba de llegar.

Algunos de los estudios genéticos más esclarecedores son los que se han realizado utilizando el material genético contenido en las mitocondrias de individuos de todas las poblaciones del mundo. Estos orgánulos, presentes en las células de nuestro cuerpo, son como seres independientes, que viven dentro de nuestras propias células y poseen su propio material genético. Pero, además, las mitocondrias tienen otra peculiaridad que las hace únicas para los estudios genéticos. Ya se ha comentado que cuando se produce la fecundación, el material genético contenido en la cabeza del espermatozoide penetra dentro del óvulo: ambos materiales genéticos se unen. Pero el nuevo ser formado hereda sólo las mitocondrias que tenía

el óvulo; las mitocondrias del espermatozoide quedan en la cola, que no penetra dentro del óvulo y que se desecha tras la fecundación. El material genético de las mitocondrias se transmite fielmente de madres a hijos, sin apenas variación; por lo tanto, las mitocondrias que poseemos en nuestras células sólo proceden de nuestra madre. Esto quiere decir que no hay intercambio de genes mitocondriales de la madre y del padre, y que el material genético de nuestras mitocondrias procede directamente del material genético de nuestras primeras madres, con la salvedad de las escasas mutaciones que se hayan podido producir. Después de estudiar el ADN mitocondrial de miles de personas por todo el mundo se ha llegado a formular la llamada «teoría de la Eva negra», según la cual todos nosotros, los *Homo sapiens sapiens*, procedemos de una hembra que vivió en algún lugar de África hace unos trescientos mil años.

Otros estudios se han realizado mediante el análisis del polimorfismo del cromosoma Y, que como sabemos sólo se encuentra en las células del hombre, y también se transmite sin sufrir apenas mutaciones. El estudio de este cromosoma Y en diversos grupos de población y en individuos de todas las partes del mundo ha producido resultados similares a los encontrados con los estudios del ADN mitocondrial. Los estudios del material genético del cromosoma Y confirman que la humanidad tuvo un antepasado varón que vivió en África hace unos doscientos mil años. Sería la «teoría del Adán negro».

Otros estudios genéticos, como el del gen de la hemoglobina, ratifican que todas las poblaciones humanas modernas derivan de una población ancestral africana, de hace unos doscientos mil años, y cuyos efectivos habrían estado en torno a los seiscientos individuos.

Los hallazgos paleoantropológicos ratifican el origen único y africano de nuestra especie. Hasta hace poco tiempo los restos fósiles de *Homo sapiens* con más de cien mil años eran esca-

sos o problemáticos. Pero hoy disponemos de pruebas abundantes. En la fosilífera región del triángulo de los Afar, en el curso medio del río Awash, se han encontrado tres cráneos, de entre ciento cincuenta mil y ciento sesenta mil años de antigüedad, que exhiben las características de los seres humanos primitivos, pero plenamente humanos. Se han hallado en otras regiones de África algunos fósiles, de características humanas modernas, con una antigüedad de entre trescientos mil y cien mil años; éstos incluyen: el cráneo de Kabwe (en Zambia), de mil doscientos ochenta y cinco centímetros cúbicos, y el fósil KNM-ER-3834 del lago Turkana, en Kenia, de casi litro y medio de capacidad.

Las puertas de África

Vemos, por tanto, que la hipótesis más aceptada es la que proclama el origen común de nuestra especie en África, a partir de un puñado de individuos, posiblemente descendientes de *Homo ergaster* o de *Homo antecessor,* y que evolucionaron independientemente a causa de alguna circunstancia que propició su aislamiento reproductor durante miles de años. Esta especie desarrolló aún más el cerebro, hasta llegar a estar dotada de una inteligencia superior y, por tanto, de una mayor capacidad de adaptación a las más variadas circunstancias. Desarrolló armas de nueva tecnología, incluidos los dos grandes inventos que supusieron la posibilidad de matar a distancia (el propulsor, que permitía enviar pequeñas azagayas a gran distancia, y el arco), y el dominio del fuego.

Y llegó un momento en que tuvieron que salir de África, pero, como ocurrió en otras ocasiones cientos de miles de años antes a otras especies de homínidos, el camino y las puertas utilizadas las decidieron los cambios climáticos. Ya hemos co-

mentado que las dos puertas para salir del inmenso corral africano se abrían y cerraban alternativamente. Cuando la puerta norte (la del istmo del Sinaí) estaba abierta, la puerta sur (el estrecho del Mar Rojo) estaba cerrada, y quien controlaba la apertura o cierre de estas vías de evacuación era el ciclo glacial.

En ocasiones, las alteraciones periódicas de la órbita terrestre y la inclinación del eje de rotación del planeta producían un breve, fugaz en términos geológicos, periodo de calentamiento de la Tierra que interrumpía el periodo glacial que, con altibajos, se venía padeciendo en los últimos millones de años. Este fenómeno sucedía cada cien mil años aproximadamente. El aumento de la temperatura media derretía los hielos polares, incrementaba el agua circulante, que antes estaba secuestrada en forma de hielo, y elevaba el calor y la humedad media del planeta. Durante ese periodo los desiertos del Sahara y del Sinaí se poblaban de lagunas y de un manto verde, y florecían en una breve primavera; por supuesto que hablamos de una brevedad geológica, de unos pocos miles de años. Este pasillo verde fue utilizado por nuestros antecesores en sus migraciones. Ya hemos dicho que estas migraciones eran un mero nomadismo, no una determinación de viajar lejos y deprisa. No eran exploradores, sólo cazadores que seguían a los rebaños que les proporcionaban el sustento. Avanzaban a la velocidad de unos veinte kilómetros por generación. Pero estamos hablando de miles de años, y con tanto tiempo se llega a todas partes.

A este breve periodo de calentamiento, que abría la puerta norte del recinto africano, los geólogos lo denominan «óptimo interglacial». El primero de estos periodos, de los dos experimentados por los *Homo sapiens*, se produjo hace ciento veinticinco mil años, poco después del nacimiento de nuestra especie. Un grupo de humanos primitivos aprovecharon la bonanza del clima y salieron por la puerta norte, hacia Oriente Próximo, pero esta ruta fue una trampa mortal para los que se aventura-

ron a destiempo. Volvió el frío y la sequía, y quedaron atrapados por la desertificación creciente de la región. Bloqueados en el pasillo septentrional, no tuvieron forma de continuar ni de retroceder. Simplemente desaparecieron. Sus restos fósiles son mudos testigos de este fracaso: los esqueletos y los cráneos encontrados en los enterramientos de la cueva de Qafzeh y del abrigo de Skhul, ambos en Israel y datados en unos cien mil años.

Dado que el Sahara y la puerta norte fueron impracticables en los últimos cien mil años, ¿cómo llegaron los humanos de África al resto del mundo? Algunos de nuestros antecesores quedaron atrapados un poco más al sur, en lo que se ha llamado el refugio verde del delta del Nilo, y también en la costa mediterránea, donde sobrevivieron durante los más de cuarenta mil años de sequía que siguieron a la interglaciación. Se han encontrado fósiles en Egipto que apoyan esta teoría.

Pero también existe otra posibilidad para salir de África, la puerta sur, que es la que pudieron utilizar los llamados «barreplayas». Se han encontrado fósiles plenamente humanos cerca del borde del mar en los yacimientos de Border Cave y Klassies River Mouth, en Sudáfrica. Es estos yacimientos aparecen montones de conchas y restos de material de combustión, lo que hace suponer que hace ciento veinticinco mil años estos antepasados se alimentaban de conchas y utilizaban el fuego para guisarlas. Se ha propuesto que estos antecesores pudieron emigrar siguiendo las costas y alimentándose de los productos que les proporcionaba el mar. En plena sequía, el entorno marino era una fuente inagotable de alimento nutritivo, rico en proteínas y en ácidos grasos poliinsaturados, necesarios para el desarrollo cerebral, y fácil de conseguir. Disponemos de muy pocos datos respecto a estos antecesores nuestros, ya que hace doscientos mil años el nivel del mar estaba muchos metros por debajo de su nivel actual. Los fósiles más antiguos de estos po-

bladores de la costa se han perdido en el fondo del mar, pero afortunadamente nos quedan como testimonio los restos encontrados en Sudáfrica. Estos barredores de costas abandonaron África hacia el sur de la península arábiga y siguieron bordeando la costa en dirección a la India.

De cualquier forma, por la costa o por el interior, una serie de oleadas de antecesores nuestros intentaron salir de África, con más o menos éxito según los avatares climáticos. Los estudios genéticos nos indican que procedemos de un pequeño grupo de antecesores; esto sugiere que sólo tuvo éxito uno de los intentos y sabemos que el puñado de ancestros que abandonaron África con éxito lo hicieron hace entre noventa mil y sesenta mil años.

¿Por dónde salieron del «corral» africano estos antecesores? El estrecho del mar Rojo era mucho más angosto durante las glaciaciones y permitía vadearlo con una cierta facilidad a través de los islotes y arrecifes que emergían muy próximos. Hace entre noventa mil y sesenta mil años se alcanzaron temperaturas muy bajas que pudieron facilitar esta ruta. Según esta hipótesis, nuestros antecesores primero colonizaron Asia y desde allí se dirigieron a Europa hace cincuenta mil años. Esto indica que los europeos actuales no procedemos directamente de África, sino de la India meridional.

Los humanos modernos continuaron su expansión por la costa de Asia y más allá llegando a Australia hace sesenta mil años. Para ello tuvieron que navegar, ya que Australia fue siempre una isla. Este hecho incuestionable aporta, según algunos autores, la prueba de que los humanos que dejaron África hace cien mil años ya sabían hablar y tenían un elevado grado de inteligencia y de capacidad de organización. El poblamiento de Australia exigió una larga travesía marítima. Construir barcos o balsas implica, desde luego, tener un objetivo concreto y compartirlo con otros en una tarea común.

En su emigración por todo el mundo, *Homo sapiens* fue eliminando a las otras especies de *Homo*, descendientes de *Homo ergaster* y de *Homo erectus*, sin mezclarse con ellas, posiblemente porque al ser especies distintas no podían dar lugar a descendientes fértiles. Se produjo, por tanto, una simple sustitución de la población antigua por otra más moderna, sin que llegara a haber ningún mestizaje.

Los humanos modernos en Europa

En 1968 se descubrieron en Dordoña el cráneo y el esqueleto de uno de nuestros antepasados, al que se denominó Hombre de Cromañón. Según las más modernas teorías que acabamos de comentar, hoy sabemos que hace unos cuarenta mil años, durante la última glaciación, aparecieron en Europa unos inmigrantes de origen asiático, nuestros antepasados más directos, que eran los primeros representantes de la especie *Homo sapiens sapiens* que alcanzaban estos territorios. Llegaron con unas armas terribles e innovadoras, conocían el modo de dominar el fuego y poseían una más completa organización social; y por lo que se refiere a la especie de homínidos que habitaba en aquel entonces Europa, a los *Homo sapiens neanderthalensis,* sencillamente los eliminaron por completo.

El largo y gélido periodo glacial que afectaba a todo el planeta se suavizó un poco hace unos treinta y cinco mil años, cuando sucedió otro periodo interestadial. En este intermedio cálido que duró unos pocos miles de años, los inviernos fueron más tolerables, los valles se abrieron un tanto y permitieron las migraciones. Fue entonces, durante esos pocos miles de años de una cierta bonanza climática, cuando nuestros antepasados atravesaron los collados, las sierras y los valles y aparecieron en Europa occidental. Una vez transcurrido ese periodo benigno,

el clima volvió a enfriarse y los hielos, que se habían retirado algo, retornaron con más fuerza y desencadenaron el terrible frío que caracterizó el periodo glacial llamado Würm Principal. En el máximo glacial, hace entre veintiún mil y diecisiete mil años, el clima debió de ser muy rudo en toda Europa. El nivel del mar descendió hasta unos 120 metros respecto al nivel actual. El canal de la Mancha estaba seco. Sobre Escandinavia, Gran Bretaña e Irlanda se volvió a formar un casquete de hielo de más de un kilómetro de espesor.

¿CÓMO ÉRAMOS HACE CINCUENTA MIL AÑOS?

El biotipo de los cromañones era longilíneo; con toda probabilidad eran de piel oscura. Poseían las características de los pobladores de las regiones próximas al ecuador: poco macizos, muy altos y de brazos y piernas largas; sus huesos eran muy livianos por el aumento del canal medular, dentro de las diáfisis. Los huesos que forman las paredes del cráneo eran más finos que en sus predecesores, habían sufrido una reducción de la masa muscular. El desarrollo de armas que podían matar a distancia con eficacia y sin requerir gran esfuerzo, como los propulsores, las hondas y, más tarde, el arco y las flechas, hicieron innecesaria una excesiva robustez. En general, eran tan parecidos a nosotros que si un Hombre de Cromañón se pasease bien aseado y vestido con traje por una calle de Madrid no llamaría la atención. Desarrollaron una industria lítica bella y eficaz. Por primera vez los artesanos se preocupaban, no sólo de la eficacia, sino también de la estética de sus instrumentos. Además de los numerosos útiles de piedra, también empleaban el marfil, el asta y el hueso. Fabricaban armas, objetos de arte, adornos y pinturas. Con los cromañones se produjo el florecimiento de la estética, muy ligada a la religión o a la magia y que tomaba for-

ma a través de grabados, pinturas, esculturas y adornos. Las maravillosas figuras de animales de la cueva de Chauvet, en Francia, o de la cueva de Altamira, en España, se han datado por radiocarbono en unos treinta mil años.

Modelaban estatuillas de todo tipo y con diversos materiales. A través de toda Europa, verdaderos artistas esculpieron figuras femeninas, jóvenes de trazos elegantes, matronas de formas rollizas y a veces mujeres extremadamente estilizadas. También esculpieron animales. Es curioso ver cómo el arte comienza hacia el año treinta mil antes de nuestra era, coincidiendo con el periodo más frío de la última glaciación y con la desaparición de los neandertales. Nada indica que Picasso represente un progreso estético con respecto a los artistas que decoraron la cueva de Altamira o la de Chauvet. Es posible que las capacidades humanas no hayan cambiado nada desde hace treinta mil años; han cambiado las técnicas, pero nosotros somos esencialmente los mismos que entonces.

En los yacimientos abundan los objetos de adorno personal: collares, cinturones, brazaletes y pulseras. Cuentas hechas de piedra blanda, marfil o huesos, que cosían a las pieles de los vestidos y de los gorros. Los cromañones utilizaron profusamente el ocre rojizo, al que debían de dar un sentido religioso y de jerarquía. Pintaban de ocre sus cuerpos y vestidos. Y es posible que también utilizaran este pigmento para curtir las pieles.

Desarrollaron los mitos y la religión, y sabían contar historias alrededor de la lumbre. La humanidad comenzó a trasnochar. Antes del dominio del fuego, en cuanto llegaba la noche, los seres humanos debían encontrar un refugio seguro para pasar la noche y protegerse del frío, siempre aterrorizados ante la posibilidad de ser devorados por alguna fiera mientras dormían. En algunos yacimientos de hace treinta mil años se han encontrado abundantes agujas y punzones hechos de hueso, con los que fabricaban vestidos de pieles para abrigarse. Tam-

bién construían cabañas revestidas de pieles y de huesos de mamut, como armazón, en las que mantenían hogares permanentemente encendidos para calentarse, cocinar o protegerse. La vida transcurría en la seguridad del refugio o la caverna y el centro social, en torno al fuego, que nos fascina tanto aún hoy. También fue entonces cuando se desarrolló el culto a los muertos. Un ejemplo es el enterramiento triple de Sungir en Rusia, datado en veintiocho mil años, de un adulto y dos adolescentes: un chico y una chica. El número de objetos de adorno que llevan encima es apabullante y supone muchísimas horas de trabajo. El adulto tiene tres mil cuentas de marfil de mamut cosidas al gorro y al traje. El chico lleva un cinturón con doscientos cincuenta caninos de zorro polar. Había otros muchos objetos, como brazaletes, colgantes y azagayas.

BIBLIOGRAFÍA

Carbonell, E., y R. Sala, *Planeta humano*, Península, Barcelona, 2000.

García Guinea, M. A., *Altamira y otras cuevas de Cantabria*, Silex, 2001.

Oppenheimer, S., *Los senderos del Edén: orígenes y evolución de la especie humana*, Crítica, Barcelona, 2004.

Tattersall, I., *Hacia el ser humano. La singularidad del hombre y la evolución*, Península, Barcelona, 1998.

VV. AA., *Orígenes del hombre moderno*, Prensa Científica, Barcelona, 1993.

—, «Los orígenes del hombre», *National Geographic* (edición española), otoño de 2000.

—, *Deesses, diosas, goddesses*, Museu d'Història de la Ciutat, Barcelona, 2000.

En Internet:

Un lugar muy completo y lleno de interesantes imágenes sobre *Homo sapiens* en español se puede visitar en: *http://www.mundofree.com/origenes/index.html*

Y en inglés en:

http://www.mnh.si.edu/anthro/humanorigins/ha/sap.htm

14

El control de la fertilidad

La regulación de la natalidad y la evolución

Uno de los factores que influyó en la evolución de la especie humana fue el desarrollo, por parte de las hembras de los homínidos, de mecanismos eficaces para controlar su propia fertilidad. De esta manera nuestras antecesoras podían ajustar su tasa de reproducción a que se dieran las condiciones más favorables para que tuviera lugar con las mayores garantías de éxito. Una vez más este importante elemento regulador fue responsabilidad exclusiva de la hembra de la especie.

Ya hemos considerado la enorme importancia que tiene una alimentación adecuada en el embarazo, para lograr un desarrollo normal intrauterino del feto, y durante la lactancia, para conseguir un desarrollo y un crecimiento eficaz del niño durante los primeros meses de vida extrauterina. Esto no sólo es importante para la especie humana, también lo es para el resto de mamíferos. Probablemente en nuestra especie la importancia de un adecuado aporte nutricional sea más crítica, a causa de la complicación añadida que supone el desarrollo de nues-

tro enorme cerebro y la gran cantidad de energía y de glucosa que se precisa para ello.

La reproducción es una función que sólo tiene trascendencia para la especie, no para el individuo. Es decir, los procesos de reproducción son energéticamente costosos e innecesarios para la supervivencia inmediata del propio individuo. Cuando la comida es abundante y los requerimientos energéticos son bajos, la energía sobrante está disponible para todos los procesos fisiológicos vitales, entre ellos la reproducción. Cuando la disponibilidad energética está limitada por deficiencia en la ingestión de alimentos (frío, sequía) o por un exceso del gasto (peligros, amenazas de enemigos), los mecanismos que distribuyen el uso de la energía favorecen sólo aquellos procesos que aseguran la supervivencia del individuo, y la reproducción no está entre ellos.

Hay por ello una norma casi general entre los mamíferos, que es la estrategia de reducir la tasa de reproducción en condiciones de escasez de alimentos; así se evita malgastar energía en una empresa de futuro, pues sin alimentos hay muy pocas posibilidades de supervivencia y de reproducción. Esto lo conocen bien los ganaderos, que saben que sus ovejas o sus vacas se reproducen mejor si llueve y hay hierba abundante que si les falta el alimento. La selección natural dotó a nuestra especie de los mecanismos necesarios para evitar la reproducción cuando se producen penurias alimenticias o se dan situaciones de peligro o de catástrofe.

¿Y por qué el mecanismo de ajuste de la tasa reproductora en relación con la disponibilidad de alimentos se encuentra en el organismo de la hembra de la especie? Es una mera cuestión de costes. Ya se ha reiterado en estas páginas que en la reproducción de los homínidos, aunque el macho y la hembra aportan cada uno la mitad del material genético, no invierten la misma cantidad de energía en el proceso reproductor. En términos

energéticos, la reproducción sólo le cuesta al macho un poco de esperma y el gasto energético por el ejercicio físico empleado en el cortejo y en el apareamiento. La hembra, por el contrario, invierte una gran cantidad de energía en desarrollar a la cría en su útero a lo largo de varios meses, para después lactarlo durante tres años y cargarlo y cuidarlo durante varios años más. El macho no precisa de un gran aporte de nutrientes para fecundar a una hembra. Sin embargo, la hembra precisa la garantía de una alimentación de buena calidad durante muchos meses tras la fecundación, para lograr el éxito reproductor.

Los mecanismos de control de la natalidad

En 1983, Wasser y Barash formularon su «modelo de supresión reproductiva», que analizaba la capacidad de las hembras para optimizar el éxito de su vida reproductora: éstas pueden inhibir o retrasar momentáneamente su capacidad reproductora cuando se den unas malas condiciones ambientales y se prevea que las condiciones futuras serán mejores para la supervivencia de sus recién nacidos que las presentes.

Dar vida a un recién nacido bajo condiciones ambientales de baja posibilidad de supervivencia no sólo es una inversión desperdiciada por parte de la hembra, sino que también supone una amenaza para la salud de la madre y puede reducir sus posibilidades de reproducirse en el futuro, cuando se den condiciones más favorables para ello.

Esta supresión reproductora puede operar a varios niveles. En el caso de que la situación estresante o la falta de alimentos suceda antes de que la hembra esté fecundada, dos son los mecanismos más comunes para controlar la fertilidad: por una parte el retraso de la maduración sexual, si la hembra aún no ha llegado a la menarquia (la primera regla), y la inhibición de

la ovulación (amenorrea) en la hembra ya madura. Si la situación de riesgo ocurre cuando la hembra está ya fecundada, se puede controlar la fertilidad mediante la reabsorción espontánea del embrión o a través del aborto espontáneo. Existe otra posibilidad que sólo opera a largo plazo y no es de un efecto inmediato; se trata de modificar la orientación sexual de los machos del grupo.

El retraso de la maduración sexual

Uno de los mecanismos utilizados para lograr la supresión reproductiva es el retraso de la edad de la menarquia. La pubertad es un periodo crucial en la historia vital de los seres humanos, que marca el final de la larga y desprotegida infancia y el comienzo del periodo reproductor. Ya vimos cómo el aparato genital femenino madura a lo largo de la pubertad. Los signos físicos tales como el aumento de los depósitos grasos en las mamas y en las caderas serían antes, como ahora, poderosas señales, para los machos de los alrededores, de que esa hembra había alcanzando la madurez reproductiva. Además, el primer ciclo ovárico culmina con la primera menstruación, la primera regla. El retraso de la maduración haría que las hembras fueran menos atractivas para los machos, y el deficiente desarrollo hormonal reduciría la apetencia sexual en la hembra haciendo que ésta fuera menos receptiva a los requerimientos del macho.

Numerosos estudios han demostrado que la edad de la menarquia y, por ende, de la maduración reproductora, está fuertemente condicionada por la nutrición y las condiciones de vida durante la infancia. Cuando existe un entorno de buena nutrición, una baja tasa de enfermedades y un escaso nivel de peligro (y estos indicadores favorables persisten a lo largo de la lactancia, de la infancia y de la pubertad), el organismo inter-

preta que se dan condiciones favorables para la reproducción y entonces cambian los niveles hormonales y se produce una precoz maduración sexual en la mujer, con el fin de acelerar una reproducción, a la que todas las señales ambientales le auguran el éxito.

También puede ocurrir que, tras una primera infancia en condiciones muy desfavorables desde el punto de vista ambiental, se acceda en la segunda infancia a condiciones de vida más favorables. Esto se ha estudiado, por ejemplo, en niñas nacidas en Bangladesh que fueron adoptadas por familias occidentales. En ellas se aceleraba la maduración sexual con respecto a otras niñas que permanecieron en las condiciones de penuria de su país de origen. Esto significa que, ante una brusca mejora de la calidad ambiental, se ponen en marcha mecanismos de adaptación para promover la reproducción. En periodos evolutivos, esta situación coincidiría con la llegada de unos años de bonanza climática y abundancia de comida tras unos años de escasez. Los organismos tuvieron que desarrollar estrategias evolutivas que les permitieran explotar una ventana estrecha de mejores oportunidades y recursos para aprovechar la coyuntura y reproducirse con las mayores garantías de éxito.

La anovulación y la amenorrea

Pero ¿qué ocurriría si el periodo de escasez de alimentos incidía en hembras ya desarrolladas sexualmente? ¿Cómo se podría evitar que tuvieran hijos en esas condiciones difíciles?

Es un hecho bien conocido que cuando en una mujer disminuye el porcentaje de grasa corporal por debajo de un cierto límite (por debajo del diez por 100 de su peso), lo que representa un adelgazamiento extremo, se produce una inhibición de la ovulación y una amenorrea (ausencia de la menstruación).

Esto se puede dar en situaciones fisiológicas frecuentes, como ocurre en aquellas deportistas de élite que deben reducir su masa grasa a un mínimo, por ejemplo las corredoras de fondo o las gimnastas; también se observa en aquellas mujeres que pierden mucho peso por enfermedad.

En todas estas situaciones se produce un descenso de la cantidad de grasa acumulada en el cuerpo. En la evolución de nuestra especie, siempre que en el organismo de una hembra se producía un descenso del contenido de grasa, sólo podía indicar que se estaba pasando una época de hambruna. También hoy, como consecuencia de los mecanismos desarrollados por la evolución, el organismo interpreta que si falta grasa es que se dan condiciones de alimentación deficiente y obra en consecuencia. Una de las prioridades es inhibir la reproducción en esa hembra que se encuentra en una situación metabólica comprometida.

¿Cómo detecta el organismo que las reservas grasas están casi vacías? Hace años se proponía la teoría lipostática para explicar estos fenómenos: la ingestión de comida y la reproducción estarían controladas por un hipotético monitor del contenido en grasa corporal. Cuando la reserva de grasa desciende por debajo de un determinado límite, lo detecta ese monitor, que estimula el hambre y permite que coma y a la vez inhibe la reproducción hasta que el peso graso se recupere. Desde hace unos pocos años conocemos cuál es el mecanismo por el que sucede esta adaptación. Una de las claves es una hormona que se produce en las células del tejido adiposo: la leptina. Básica y muy esquemáticamente, vamos a considerar cómo deberían suceder las cosas en una hipotética antecesora que se vio, por circunstancias climáticas, sometida a un ayuno prolongado.

Un frío intensísimo impidió a los miembros del clan abandonar el refugio durante semanas y salir a cazar; acabaron todas sus reservas de grasa y su tejido adiposo se redujo de tamaño.

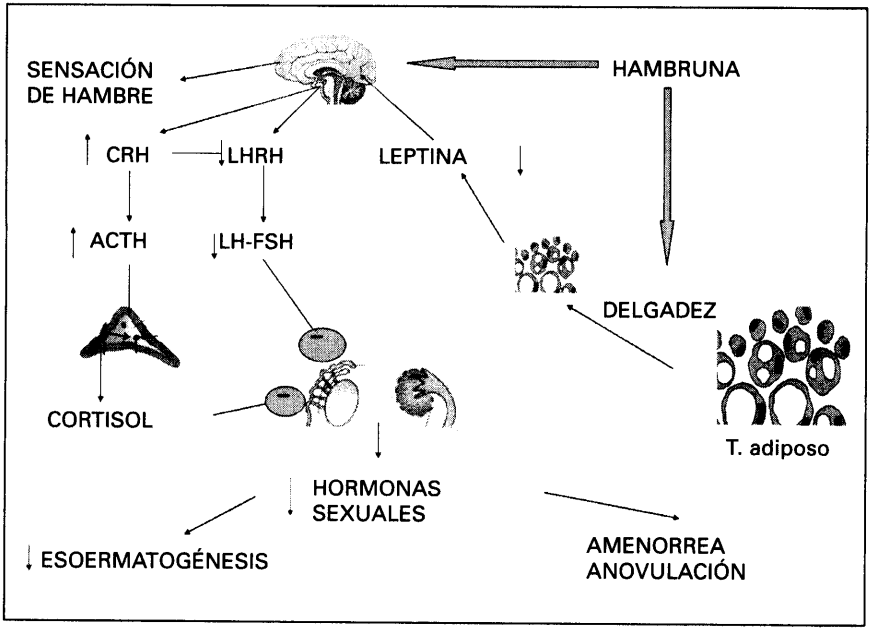

FIGURA 14.1. Masa grasa y control de la fertilidad.

La hambruna, es decir, una escasez persistente de alimentos ocasiona una reducción de los depósitos grasos y adelgazamiento. Al vaciarse, las células adiposas dejan de liberar la hormona leptina y su concentración en sangre disminuye. Cuando los núcleos hipotalámicos del cerebro detectan este descenso de la leptina desencadenan la sensación de hambre. Si la situación persiste y el porcentaje de grasa corporal desciende por debajo de un diez por 100, el hipotálamo reduce la producción de la hormona reguladora de las gonadotrofinas (LHRH), que inhibe la secreción de las gonadotrofinas LH y FSH por la hipófisis. Estas hormonas controlan el funcionamiento de las gónadas; al disminuir sus niveles en la sangre se produce un freno en la actividad de los ovarios. Se produce una inhibición de la ovulación, amenorrea y esterilidad. (Esquema tomado de J. E. Campillo, 2004.)

Cuando las células adiposas pierden grasa dejan de liberar la hormona leptina (es el pilotito rojo que indica que el depósito de combustible está vacío). La disminución de la leptina es captada por el cerebro y activa el hipotálamo, que es la zona donde, entre otras funciones, se controla el hambre. En ausencia de leptina el hipotálamo desencadena la sensación de hambre (¡hay que llenar los depósitos vacíos!). Pero estos homínidos muertos de hambre, casi sin fuerzas, seguían sin poder abandonar su refugio a causa de los fuertes vientos y las temperaturas de frío extremo. Si la situación persiste, además de estimular aún más el hambre el hipotálamo, a través de mecanismos bien conocidos hoy, reduce la secreción de las hormonas gonadotrofinas LH y FSH, que son las encargadas de controlar la función de las gónadas. El descenso de estas hormonas provoca un freno de la actividad del ovario y se produce la amenorrea y la anovulación, lo que ocasiona la esterilidad en esa hembra.

Cuando pasaba ese frío tan intenso y salían a cazar, atrapaban un reno y se lo llevaban al refugio, y durante una semana se atracaban con su carne y con su grasa. Esa hembra famélica comenzaba a rellenar rápidamente sus depósitos de grasa y, al crecer el tamaño de sus adipositos, se estimulaba la secreción de leptina (se apaga el pilotito al volverse a llenarse el depósito de combustible), que llegaba al hipotálamo, donde normalmente inhibía el hambre. Bajo la influencia de la leptina el hipotálamo volvía a estimular la secreción hipofisaria de gonadotrofinas LH y FSH, y estas hormonas activaban de nuevo el ciclo ovárico y la hembra volvía a ser fértil.

Este asunto de la grasa de la hembra y la supervivencia de la tribu de antecesores tuvo una gran importancia. Es un hecho bien estudiado que numerosas estatuillas paleolíticas de diosas de la fertilidad, datadas en más de treinta mil años de antigüedad, representen siluetas de mujeres voluminosas, con redon-

deces y gorduras muy evidentes: hace miles de años, las gordas eran las diosas.

¿Es la anorexia un residuo evolutivo?

La anorexia nerviosa es un trastorno alimentario grave que suelen padecer mayoritariamente mujeres adolescentes, justo antes o durante su maduración sexual. Sus manifestaciones son diversas, pero destacan una gran pérdida de peso, la ausencia casi total de ganas de comer (anorexia), la propensión a realizar ejercicio físico a veces extenuante y un interés exagerado por todo lo relacionado con por la alimentación; incluso llegan a elaborar platos deliciosos que ellas nunca prueban. Uno de los síntomas característicos de estas pacientes es una percepción deformada de su propia imagen corporal; es decir, se ven gordísimas aunque estén en los huesos. Estas manifestaciones alimentarias se acompañan de diversas alteraciones hormonales, entre las que destacan la ausencia de menstruación (amenorrea) y la anovulación.

No se conocen bien los mecanismos psicológicos y neuroendocrinos que ocasionan esta grave alteración, aunque casi siempre el factor que lo desencadena es un adelgazamiento excesivo a causa, generalmente, de una dieta incorrecta. Es como si la pérdida rápida y descontrolada de peso, al actuar en un periodo crítico del desarrollo femenino, pusiera en marcha todo el proceso patológico. Algunos autores consideran que la anorexia podría ser una reminiscencia de los mecanismos de control de la fertilidad que acabamos de describir. La anorexia presenta algunos hechos compatibles con la estrategia del modelo de supresión reproductiva. Según algunos autores, la amenorrea de la anorexia nerviosa puede ser una respuesta adaptativa (supresión temporal de la actividad re-

productora) a una situación de estrés o a una severa falta de alimentos.

Según la teoría de supresión reproductiva, la situación de estrés ambiental que padecían, de vez en cuando, nuestras antecesoras (acoso permanente de hordas de fieras, meses de condiciones climáticas durísimas con ciclones o sequías, periodos de convulsiones geológicas con terremotos y erupciones volcánicas) influía en sus centros neuroendocrinos. Se modificaban los niveles de algunas hormonas y afectaban al desarrollo sexual o la función reproductora. Las niñas hoy perciben el estrés de un futuro difícil, unos estudios que creen que nunca van a superar, unas expectativas laborales inciertas, un miedo a las relaciones sociales, sobre todo con padres o con compañeros, un temor a no tener la preparación suficiente para enfrentarse a situaciones futuras como la maternidad, el temor a no estar lo suficientemente atractivas según los patrones estéticos de moda para atraer y retener a una pareja. Los sistemas neuroendocrinos de las niñas perciben hoy todas estas situaciones de la misma forma que una hembra de homínido percibía las catástrofes geológicas hace un millón de años. Y sus sistemas neuroendocrinos reaccionan en consecuencia.

Las hembras que nos precedieron en la evolución reaccionaban a la falta de alimento con una supresión reproductiva. Cuando una de estas niñas se somete durante meses a una dieta absurda, sin control médico, su organismo pierde grasa y masa magra y entonces sus sistemas neuroendocrinos (que no son capaces de discriminar el origen de la falta de comida) interpretan que esa «hembra» está viviendo un periodo de privación de alimentos en el entorno y responden inhibiendo la función ovárica, como ya hemos visto. Estudios realizados en voluntarios sanos muestran que cuando se les somete a una dieta restrictiva en calorías se inducen cambios profundos en su comportamiento.

Se plantean algunas dudas a esta hipótesis. ¿Por qué sólo en niñas en la pubertad y mucho menos en mujeres ya desarrolladas? Una explicación podría ser que los sistemas neuroendocrinos son más vulnerables en pleno desarrollo. Pero hay otras razones más adaptacionistas. Las repercusiones que produce un retraso en la reproducción no son las mismas para todas las mujeres. El mecanismo es más eficaz y de más rentabilidad reproductiva si ocurre en hembras jóvenes, que están al comienzo de su vida fértil, que en aquellas próximas al final de su fertilidad.

¿Cuál es el factor más importante para desencadenar la amenorrea, el estrés o la pérdida de peso? Son mecanismos que actúan interconectados, pero es posible que el factor más importante sea el estrés; de hecho numerosos estudios muestran que si persiste la situación estresante, la amenorrea no remite, aunque se recupere el peso corporal. Además, en el setenta y tres por 100 de los casos la amenorrea ocurre antes de que suceda una pérdida severa de peso. Es decir, el estrés puede ocasionar la amenorrea. El ayuno y el descenso de masa grasa subsiguiente servirían para reforzar la supresión de la menstruación una vez que el proceso se ha iniciado a causa de las condiciones estresantes (reales o imaginadas).

La tercera cuestión importante, entre muchas otras, es que aunque algunas niñas sufren diversos tipos de estrés, sólo una pequeña proporción se convierten en anoréxicas. Se ha sugerido que la anorexia nerviosa es el extremo final de una línea continua de situaciones intermedias; algunos estados leves en sus manifestaciones pasan desapercibidos hasta que remiten espontáneamente. Las pacientes diagnosticadas de anorexia nerviosa, según los criterios clínicos aceptados, representan sólo el pico del iceberg de un conjunto de mujeres delgadas y con amenorreas transitorias que en la mayor parte de los casos padecen temporalmente su problema sin diagnosticar.

Las tías solteronas

En situaciones difíciles, nuestras antecesoras podrían lograr una mayor eficacia reproductiva gracias a la cooperación de parientes cercanos que colaboraban con ellas en el esfuerzo reproductor. Se trata del caso de las hembras colaboradoras (*helper at the nest* o colaboradoras en el nido), cuyo concepto ya describió Skutch hacia la década de 1930.

Se trata de un conjunto de conductas muy frecuentes en el reino animal, sobre todo en insectos sociales, en numerosas especies de aves y en algunos mamíferos monógamos, por las cuales hermanos u otros parientes cercanos sacrifican su propia fertilidad en beneficio del grupo. Un ejemplo extremo es el de las abejas. En la colmena todas las obreras son estériles y dedican sus esfuerzos a la reproducción de la abeja reina. A estos sistemas que se basan en la supresión de la reproducción en los colaboradores fenotípicos altruistas y que permiten la reproducción de algunos individuos privilegiados se les denomina aristogamias.

Algunos autores sostienen que en nuestro pasado evolutivo, las hembras, que tenían que soportar una larga preñez y cargar durante años con el cuidado de una prole muy dependiente, necesitaron la ayuda de hembras estériles que colaboraban con ellas, las hembras fértiles; sin esta colaboración, la reproducción de los homínidos, que ya poseían un elevado grado de encefalización, hubiera sido muy difícil. Imaginemos, por ejemplo, hace cien mil años, en plena glaciación, a una hembra preñada que, además de estar amamantando aún a una cría, tuviera que cuidar a otra de tres años: apenas podría abandonar las proximidades del refugio donde habitaba el clan. En estas circunstancias la colaboración de las «tías solteronas» resultaba esencial; al no tener que soportar su propia carga reproductora

podían dedicar su tiempo y sus esfuerzos en favor de sus hermanas fértiles. Incluso, teniendo en cuenta que la fabricación de vasijas y recipientes para transportar comida debió de ser un logro muy reciente, apenas hace diez mil años, ¿cómo se las ingeniaban para transportar comida a estas hembras que no podían abandonar el refugio en el que habitaban? Las hembras solteronas podrían colaborar en esta tarea de la misma forma que lo hacen las abejas o las aves, aportando la comida dentro de sus propios estómagos, que regurgitaban al llegar al abrigo rocoso para alimentar a las hembras fértiles y a sus crías. Estas hembras acompañaban a los machos en sus cacerías. Cuando la partida de caza lograba una presa, tenían que devorarla a la mayor velocidad posible, antes de que llegaran otros predadores poderosos atraídos por el olor del festín. Las hembras estériles se atracarían hasta que no podían más con la carne de las presas, que luego vomitarían al llegar al refugio.

Es atractivo imaginar que el comportamiento de atracones repetidos y el deseo de ingerir grandes cantidades de alimentos a gran velocidad, para luego vomitarlos, que caracteriza la bulimia y algunas formas de anorexia nerviosa, que afecta a bastantes mujeres, pudiera ser una reminiscencia de este comportamiento altruista de nuestras antecesoras.

Los hermanos y los tíos homosexuales

Algunos autores sugieren que uno de los mecanismos que operaron durante nuestra evolución para influenciar (positiva o negativamente) la tasa de fertilidad es la homosexualidad masculina. Una de las formas de regular la tasa de fecundidad de un rebaño o tribu es reducir el interés de los machos por las hembras, y una manera de lograrlo es modificando la orientación sexual de los machos. Por otra parte, la homosexualidad

masculina podría ayudar a la reproducción en circunstancias difíciles actuando mediante mecanismos de cooperación parental. Se trataría de tíos o hermanos cooperadores (*helping sibling*), que no tienen hijos propios, que desarrollan una actitud vital parecida a la de las mujeres y que colaboran con las hembras fértiles en la cría de sus hermanos o sobrinos.

Diversos estudios han mostrado que los hombres homosexuales, al estar reducida su atracción sexual por las mujeres, producen menos descendencia. Investigaciones llevadas a cabo en Estados Unidos demostraron que los homosexuales tienen un quinto menos de hijos que los heterosexuales. En sociedades remotas no occidentalizadas, los hombres homosexuales a veces se casan, pero con mayor frecuencia adoptan roles sociales no reproductores y permanecen célibes toda su vida.

La homosexualidad masculina es un fenómeno complejo que puede tener causas diversas, tanto genéticas como ambientales, que pueden actuar en todas las etapas del desarrollo de la orientación sexual, desde la concepción hasta el final de la maduración sexual. Numerosos estudios apoyan el origen genético de algunas formas de homosexualidad masculina. Los estudios de concordancia en gemelos apoyan la causa genética. Los estudios en familias demuestran que los genes responsables se transmiten a través de las mujeres, pero sólo los expresan los varones. Incluso se ha encontrado un gen asociado al cromosoma X, el famoso Xq29, que puede ser responsable de algunas formas de homosexualidad masculina.

Aunque no se puede descartar la influencia genética, la teoría general del desarrollo de la orientación sexual indica que está controlada por señales hormonales (o la ausencia de tales señales) que actúan en fases críticas del embarazo, en los momentos en los que se están desarrollando las áreas hipotalámicas que determinan la orientación sexual. La testosterona producida por los testículos del feto que porte un cromosoma Y

masculiniza los tejidos del embrión, ocasionando el desarrollo de las características biológicamente masculinas, que incluye la atracción sexual por las mujeres. Es posible que los genes que pueden modificar la orientación sexual ejerzan sus efectos a través de las hormonas sexuales y su actuación durante el desarrollo embrionario.

¿Qué mecanismos pudieron actuar durante nuestra evolución para que la homosexualidad masculina influyera en la tasa de reproducción? Uno de los mecanismos viene de la observación, repetida y contrastada, de que la homosexualidad se correlaciona con el número de hermanos mayores. Blanchard y Klassen en 1997 propusieron la hipótesis de que el orden de nacimiento afecta de alguna manera al desarrollo de la homosexualidad masculina. Y desde luego el mecanismo debía de estar en el útero materno; es como si se alertara algún mecanismo especial cuando un embrión macho ocupa un útero, que ya ha estado ocupado previamente por otros embriones varones.

Se ha propuesto que este efecto del número de orden tras varios hermanos refleja la progresiva inmunización que sufren algunas madres a determinados productos de los genes del cromosoma Y, que se expresan sólo en varones. Estas moléculas, probablemente antígenos de histocompatibilidad (parecidos a los que ocasionan el rechazo de órganos) provocan una progresiva inmunización en la madre. Cada feto macho desencadena una mayor inmunización en la madre, que produce anticuerpos contra estas moléculas características de los varones. Estos anticuerpos actuarían modificando directa o indirectamente la diferenciación de las áreas cerebrales responsables de la orientación sexual.

Éste podría ser un mecanismo automático para controlar el exceso de machos fecundadores en un grupo. Otro de los mecanismos interesantes desde el punto de vista evolutivo es la influencia del estrés prenatal de la madre en el nacimiento de

crías macho homosexuales. Situaciones estresantes sufridas por la madre en determinados momentos del desarrollo embrionario pueden alterar los niveles hormonales y afectar al desarrollo de las áreas cerebrales responsables de la orientación sexual. Este mecanismo conectaría una de las acciones más significativas por su influencia sobre la reproducción, como es el estrés materno, con la homosexualidad masculina.

Diversos estudios realizados en ratas preñadas muestran que si la madre es sometida a situaciones de estrés, repetidas a lo largo del día (descargas eléctricas, destellos luminosos repetitivos, ruidos violentos), aumentan las hormonas esferoidales tanto en la madre como en los fetos, y en cierta forma se alteran los niveles de hormonas sexuales, que también son esteroidales. Cuando algunos fetos machos de estas ratas sometidas a estrés alcanzan la edad adulta fracasan en el acoplamiento sexual con las hembras e incluso adoptan patrones de conducta sexual femenina (lordosis o postura receptiva) permiten que los monten otros machos. Estos cambios se extienden más allá de la mera conducta sexual reproductora; el animal macho se ve afectado también en sus conductas sexuales de tipo social. En general estos machos resultan menos agresivos y están más inclinados a los patrones de juegos característicos de las hembras. Sin embargo, las hijas de estas ratas madres estresadas no sufren ningún tipo de modificación en su conducta. En las ratas macho cuya conducta sexual es de tipo hembra, se observan modificaciones de algunas áreas cerebrales específicas, como por ejemplo el llamado núcleo sexodismórfico, situado en el hipotálamo, que es menor en las ratas macho estresadas. Estos estudios muestran que la aplicación de estímulos desagradables repetidos a la rata gestante provoca en los fetos machos una disminución de los patrones característicos de la masculinidad y se modifican algunas áreas cerebrales que normalmente presentan diferencias en función del sexo.

No se dispone de muchos estudios relativos a la influencia del estrés materno en la orientación sexual de los hijos varones en la especie humana. Uno de los más característicos es el realizado por Dorneer en 1980, en el que investigó a un grupo de homosexuales nacidos en Alemania entre 1934 y 1953. Encontró un número desproporcionadamente elevado de homosexuales nacidos justo en los meses siguientes al fin de la segunda guerra mundial, cuando Alemania fue sometida a terribles bombardeos en la fase final de su conquista por las fuerzas aliadas. Las embarazadas vivían en permanente desasosiego ante los bombardeos incesantes. Otros estudios se han realizado mediante encuestas retrospectivas realizadas a homosexuales acerca de las situaciones del embarazo de su madre, y con mucha frecuencia se citan situaciones estresantes que afectaron a sus madres en el segundo trimestre de embarazo. Entre estas situaciones destacan: cambios de residencia, trastornos mentales, muerte de algún familiar o de algún amigo o cambio de trabajo.

Hace años, al final de una conferencia que impartí sobre los fundamentos biológicos de la homosexualidad y la transexualidad, se me acercó un transexual (hombre a mujer) ya de una cierta edad, viudo y con varios hijos. Muy emocionado me confesó que mis palabras le habían revelado la causa del problema que le había atormentado toda su vida (su transexualidad oculta por razones sociales): su madre había pasado todo su embarazo prisionera en una checa durante la guerra civil, mientras esperaba a ser fusilada.

BIBLIOGRAFÍA

Bailey, J. M., L. Willerman y C. Parks, «A test of the maternal stress theory of human male homosexuality», *Archives of Sexual Behavior*, 20, 1991, pp. 276-293.

Campillo, J. E., «Biología del transgenerismo», en *Transexualidad: la búsqueda de una identidad*, Ediciones Díaz de Santos, Madrid, 2003.

—, *El mono obeso*, Crítica, Barcelona, 2004.

Guisinger, S., «Adapted to flee famine: adding an evolutionary perspective on Anorexia Nervosa», *Psychological Review*, 110, 2003, pp. 745-761.

Miller, E. M., «Homosexuality, birth order, and evolution: toward and equilibrium reproductive economics of homosexuality», *Archives of Sexual Behavior*, 29, 2000, pp. 1-23.

Pillard, R. C., y J. M. Bailey, «Human sexual orientation has a heritable component», *Human Biology*, 2, 1998, pp. 347-365.

Schneider, J. E., D. Zhou, R. H. Blum, «Leptin and metabolic control of reproduction», *Hormonal Behaviour*, 37, 2000, pp. 306-326.

Stearns, S. C., *Evolution in Health and Disease*, Oxford University Press, Nueva York, 1999.

Surbey, M. K., «Anorexia Nervosa, amenorrhea and adaptation», *Ethology and Sociobiology*, 8, 1987, pp. 47S-61S.

Trevathan, W. R., «Evolutionary obstetrics», en *Evolutionary Medicine*, Oxford University Press, Nueva York, 1999.

Voland, E., y R. Voland, «Evolutionary biology and psyquiatry: The case of Anorexia Nervosa», *Ethology and Sociobiology*, 10, 1989, pp. 223-240.

Wasser, S. K., y D. P. Barash, «Reproductive suppression among female mammals: implications for biomedicine and sexual selection theory», *The Quarterly Review of Biology*, 58, 1983, pp. 513-538.

En Internet:

Psicología evolucionista. Anorexia y bulimia y evolución: *http://www.wilderdom.com/personality/L7-1EvolutionaryPsychology.html*

Homosexualidad y evolución: *http://human-nature.com/darwin/ links/evolution.html*

15

La hipótesis de la abuela

Los terneros no tienen abuela

En efecto, los terneros no tienen abuela, sólo madre. Desde un punto de vista biológico, en el rebaño puede haber una vaca añosa, una de cuyas hijas haya parido, pero la vaca abuela nunca se reconocerá como tal en la cría de su hija. Esa vaca grande, de andar pausado, no dará a su nieto ni mimos ni cuidados especiales, ni lo vigilará en ausencia de su madre. Ni siquiera le dará una alimentación suplementaria a costa de su propia leche; es más, si su nieto biológico se atreve a acercarse a sus ubres lo más probable es que lo reciba con una coz. Esa vaca no ejercerá de abuela; no sabrá que lo es.

Una circunstancia similar la podemos encontrar en los congrios, las ovejas, los perros, los buitres leonados o los conejos, y en general en el resto de los animales. La institución de la abuela, es decir, una hembra que reconoce a las crías de su hija y colabora con ella en su cuidado y desarrollo, es algo exclusivo de la especie humana. La invención de la abuela fue un truco evolutivo necesario para remontar con éxito los últimos escalones de la evolución de nuestra especie. Sin la existencia de

esta institución única, probablemente nuestro cerebro no habría llegado a completar su evolución.

Como en tantas otras ocasiones, este último empujón en nuestro camino evolutivo tuvo un coste elevado y también lo tuvo que asumir la hembra de la especie; el precio fue la supresión de la fertilidad varios años antes del fin biológico de la vida: la menopausia.

La transformación de madres en abuelas

Millones de mujeres se enfrentan entre los cuarenta y cinco y cincuenta y cinco años de edad a la menopausia. El cuerpo de la mujer sufre cambios que pueden afectar a su salud, a su vida social, a su sexualidad, a los sentimientos acerca de ella misma y a sus actividades familiares y laborales. Hace unos años la pérdida de la fertilidad suponía para la mujer un final terrible y frustrante. En la actualidad muchas mujeres encuentran que los años que suceden tras la menopausia ofrecen nuevos descubrimientos y frescos desafíos. Hoy los avances médicos permiten un abanico de posibilidades para aumentar la calidad de vida cuando llega la menopausia y en las décadas siguientes; hay que tener en cuenta que las mujeres de los países desarrollados viven más de treinta años de su vida en esta condición fisiológica.

La menopausia es estrictamente el término médico para expresar el final de la actividad menstrual. Ocurre cuando los ovarios detienen la función cíclica que llevan realizando sin interrupción desde la pubertad, dejan de fabricar los óvulos y detienen la producción de las hormonas sexuales femeninas: los estrógenos.

La disminución de la producción de estrógenos desencadena síntomas molestos que afectan a casi todas las mujeres menopáusicas. A corto plazo, lo más común son los sofocos; unas olea-

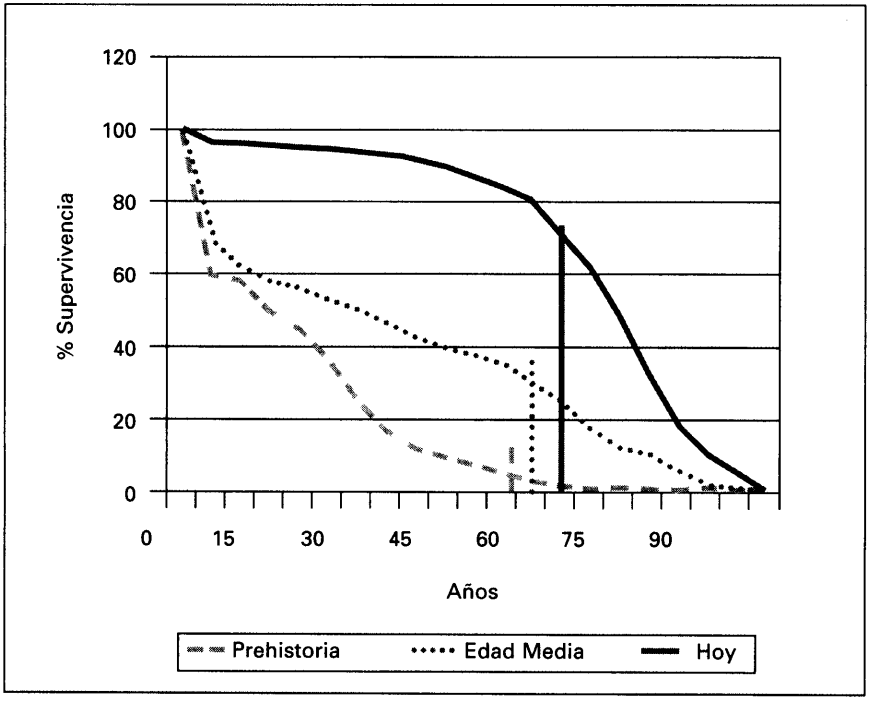

FIGURA 15.1. La edad de la menopausia ha aumentado al mejorar las condiciones de vida.

La vida media de una población es el punto en que la línea correspondiente al cincuenta por 100 de supervivientes intercepta la curva de supervivencia. La vida media de la hembra se estima en veinte años en la Prehistoria, cuarenta y cinco años en la Edad Media y ochenta años hoy en las sociedades desarrolladas. La vida media de una población depende de las condiciones ambientales y de los estilos de vida. La máxima duración de la vida corresponde a la edad a la cual la curva de supervivencia toca el eje horizontal, es decir, cundo no hay ningún superviviente. Este parámetro sólo depende de la condición genética de cada especie y posiblemente no ha variado en toda la historia de nuestra especie *Homo sapiens*.

En las líneas verticales se muestran las edades hipotéticas a las que tenía lugar la menopausia en los periodos históricos considerados. Siempre la máxima duración de la vida humana ha superado la edad de la menopausia, lo único que ha ido cambiando es el porcentaje de mujeres que lo lograban.

das de calor intenso, insoportable, que afecta sobre todo a la cara y a la parte superior del cuerpo y que se acompaña de sudoración a veces profusa. Estos sofocos, que aparecen de improviso en cualquier momento del día y, sobre todo, de la noche, afectan a la vida social y al sueño de numerosas mujeres. Se pueden producir también cambios en el humor y en el estado de ánimo, alteraciones urinarias, como la incontinencia, y problemas vaginales, como la sequedad y la atrofia. En algunas mujeres se produce también una reducción del deseo sexual. Todas estas manifestaciones varían mucho en intensidad de unas mujeres a otras.

A largo plazo las mujeres menopáusicas están expuestas a numerosas enfermedades crónicas degenerativas, como la osteoporosis, la enfermedad cardiovascular y el cáncer. Estas circunstancias y las anteriores obligan a muchas mujeres, en colaboración con sus médicos, a tomar una decisión arriesgada y crucial: el someterse a la llamada terapia hormonal sustitutiva, que es la administración de aquellas hormonas que el ovario ha dejado de producir. La terapia hormonal sustitutiva se aplica con dos fines esenciales: por una parte, aliviar los síntomas vasomotores (calores y sofocos) y el resto de molestias subjetivas diversas; en segundo lugar, prevenir o retrasar la aparición de algunas enfermedades crónicas. Pero la terapia hormonal sustitutiva no es absolutamente inocua. Diversos estudios señalan que la administración de estrógenos a las mujeres menopáusicas durante más de cinco años aumenta la incidencia de cáncer de endometrio, de cáncer de mama, de tromboembolismo venoso o de enfermedad biliar.

La hipótesis de la abuela

Al parecer la selección natural ha favorecido el desarrollo de esta característica exclusiva de las hembras de nuestra especie:

la menopausia, es decir, la supresión de la menstruación al llegar a una edad en que la esperanza de vida es aún significativa. De esta forma las mujeres se vuelven estériles de forma irreversible, mucho antes de ser fisiológicamente viejas, y esta fase posreproductora de la vida puede llegar a representar un tercio de su existencia biológica total. Esta pérdida de la fertilidad ocurre en torno a los cincuenta años de edad en la mayor parte de las poblaciones humanas.

En contraste, los animales hembras en su hábitat natural se reproducen hasta su muerte, que generalmente ocurre por enfermedad, por accidente o por predación. En cautividad los animales llegan a vivir más años y a veces se observa que se vuelven estériles poco antes de la muerte. Se trata de una senescencia reproductiva, asociada al envejecimiento general. Es decir, el cese de la fertilidad ocurre casi inmediatamente antes de la muerte.

Algunos primates, sobre todo en cautividad, muestran en esas circunstancias cambios histológicos y endocrinológicos similares a los de la menopausia humana. Pero en ninguna especie de primates se observa, de forma universal, una cesación permanente del ciclo reproductivo seguido de un periodo tan prolongado de vida posreproductiva como en la mujer. Ocasionalmente una hembra de chimpancé, que alcanza una edad avanzada, puede perder la capacidad de ovular unos pocos años antes de morir, pero también existen pruebas de hembras chimpancés capaces de copular y tener descendencia en edades muy avanzadas. La senescencia reproductiva que se observa en algunas hembras animales en cautividad no se puede decir que sea la menopausia.

Se ha constatado que las hembras de algunos de los animales de mayor desarrollo cerebral, como algunos cetáceos y ciertos delfines, han podido desarrollar algo parecido a la menopausia humana. Por ejemplo, en las ballenas piloto, que pueden llegar

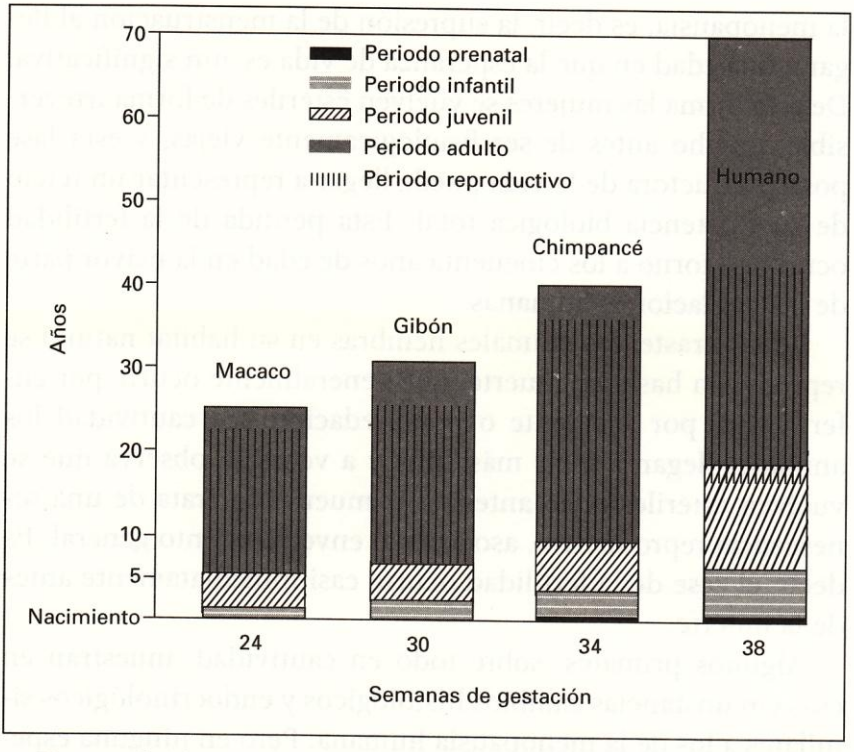

FIGURA 15.2. Mecanismo evolutivo para crear la abuela.

En las mujeres existe un retraso en alcanzar la maduración sexual con respecto al resto de hembras de primates: diez años en la hembra de chimpancé y quince en la hembra humana. Ésta es una característica general de nuestra especie y que afecta a diversos aspectos de nuestra fisiología: somos una especie de maduración lenta. En contraste, el periodo fértil, reproductivo, se mantiene muy similar en todas las hembras de primates, unos treinta años. La diferencia más importante en el asunto que nos ocupa es que en las hembras de primates la senescencia reproductora casi coincide con la duración máxima de la vida: dejan de ovular un par de años antes de morirse. En la mujer, al cese de la fertilidad le sigue un prolongado periodo posreproductivo, la menopausia. Posiblemente el truco utilizado por la selección natural para crear la abuela no fue detener la reproducción en la mujer a una edad temprana, sino prolongar la vida tras el cese de la fertilidad. (La figura se ha elaborado a partir de los datos de K. Hawkes *et al.*, 1998.)

a vivir sesenta años, un veinticinco por 100 de las capturadas por los balleneros eran ya estériles a edades alrededor de los treinta y cinco años. Estos globicéfalos constituyen grupos muy estructurados formados por numerosos individuos. Las hembras amamantan a sus crías durante más de diez años. Al parecer, los cetáceos más viejos protegen y cuidan a los más jóvenes.

Si consideramos la menopausia desde una visión evolucionista surgen numerosas preguntas: ¿Por qué somos la única especie con menopausia? ¿Para qué sirve la menopausia? ¿Qué ventaja proporcionó a nuestros antecesores para que fuera favorecida por la selección natural?

Desde el punto de vista de la selección natural, aquellos caracteres no funcionales, los que no proporcionan una ventaja de adaptación y de supervivencia o que son dañinos para la vida de los individuos, se pierden en el transcurso de los miles de años de evolución. Pero si la menopausia, que en una primera apreciación podría considerarse una característica poco adaptativa, ya que reduce la fertilidad de la hembra humana, ha evolucionado con nosotros, es porque ha proporcionado una ventaja para la adaptación y la supervivencia de nuestra especie.

Con un poco de imaginación podemos pintar una escena característica de nuestro pasado que nos puede ayudar a comprender la importancia evolutiva de la menopausia. Vemos a una hembra de alguna especie de homínido, quizá *Homo sapiens* arcaico, dentro de una cueva en plena era glacial, con más de veinte grados bajo cero en el exterior, preñada de seis meses, con un niño de dos años al que aún amamanta y apenas sabe andar, y otros dos niños a los que cuidar, uno de tres años y otro de cinco, y sin poder contar con la ayuda de las otras hembras del clan, ya que cada una de ellas está en una situación similar. Podemos añadir al cuadro algún niño enfermo, incluso agonizante, lo que debía de ser frecuente, como atesti-

gua la elevada mortalidad infantil que existía en la época. Imaginemos el viento helado que se colaba entre las pieles que apenas tapaban la entrada a la cueva. Unos troncos arden pero casi no espantan el frío intenso. El miedo aterroriza a aquellas hembras y a sus crías, ya que los machos están ausentes, de cacería, y en cualquier momento pueden verse atacadas por una jauría de lobos hambrientos o por los terribles osos cavernarios.

¿Cómo fue posible evolucionar y sobrevivir en estas condiciones, durante miles de años? ¿Cómo resolvió la evolución que las hembras pudieran atender con éxito a tantas crías, en condiciones tan difíciles? De nuevo la hembra vino en ayuda de la especie y el logro evolutivo que resolvió el problema de criar tantos niños, tan desvalidos y con un periodo de desarrollo tan largo, fue otro invento extraordinario: la abuela.

Es decir, para solucionar en parte los problemas ocasionados en el último incremento del tamaño cerebral, posiblemente hace medio millón de años, la selección natural produjo esa característica exclusiva de las hembras de nuestra especie: la menopausia. Su consecuencia inmediata, la aparición de la figura de la abuela, fue la última gran aportación que permitió a nuestra especie subir los últimos peldaños de su evolución hasta convertirse en lo que hoy somos: *Homo sapiens sapiens*.

El valor adaptativo de la abuela

En un principio, ya que la menopausia pone fin precozmente a la capacidad reproductiva de las mujeres y que parece desfavorecer la reproducción de los genes, podría pensarse que algo así no puede ser. Pero vemos a continuación que existen al menos cinco argumentos que apoyan el valor adaptativo de la menopausia.

1. La menopausia garantiza que la madre sea lo suficientemente joven para que pueda sobrevivir a la larga infancia de su hijo. La menopausia sólo podría tener utilidad evolutiva en el caso de que criar a un bebé requiera la inversión de mucha energía y de un largo periodo de tiempo antes de que no necesite a sus padres para nutrirse y defenderse de los peligros. En una chimpancé vieja, no hay problemas graves si tiene una cría a esa edad muy avanzada, ya que el parto es fácil y la cría en pocos meses se hace independiente; si muere su madre a causa de su edad avanzada, la cría sobrevive con facilidad. Pero en la hembra humana la cosa es diferente, y por eso la menopausia asegura que las madres sean suficientemente jóvenes para poder sobrevivir al embarazo, al parto y a la dilatada infancia de sus hijos. La menopausia asegura que los niños nacen de madres lo suficientemente jóvenes para poder criarlos.

2. La menopausia evita que las madres añosas compitan con sus hijas por reproducirse. Las hembras de los homínidos que invertían sus energías y su tiempo en cuidar de sus nietos tendrían a la larga más descendientes que las mujeres que no ayudaban a sus nietos y a cambio parían hijos tardíos. Por lo tanto la menopausia señala el final de la reproducción, y sucede cuando las perspectivas de tener un nuevo hijo se reducen, pues resulta mejor invertir en sacar adelante el último hijo que se ha tenido que tratar de tener otro. Este «parar pronto» (*stopping early hipótesis)* permitía a las hembras mayores no tener que competir con sus hijas por la reproducción y concentrar sus energías en sus nietos.

3. Las abuelas realizan una mayor contribución al acervo genético propio criando a sus nietos (que portan la cuarta parte de sus genes) que arriesgándose a criar hijos propios (con la mitad de sus genes) a una edad en la que difícilmente podrían criarlos, a causa de su largo periodo de desarrollo, y que por lo tanto estarían expuestos a quedar huérfanos y perecer.

4. La menopausia reduce el riesgo de malformaciones y abortos que aumenta con el envejecimiento de la persona, lo que incrementa la probabilidad de perder al niño o que éste nazca con alteraciones genéticas. Es sabido que aumentan las alteraciones cromosómicas en los óvulos de las mujeres de mayor edad. También se reducía el riesgo de mortalidad durante el parto. Aun con el desarrollo de la obstetricia moderna, las mujeres mayores de cuarenta años tienen cinco veces más probabilidades de morir en el parto que las mujeres de veinte años.

5. La detención de la actividad ovárica reduce los niveles de los estrógenos circulantes, con lo que a su vez se reduce el riesgo de que las células ya envejecidas se transformen en cancerosas.

Es decir, la hipótesis de la abuela establece que la menopausia es una adaptación evolutiva, el resultado de una selección para permitir una larga vida posreproductiva, para aumentar la inversión maternal en la progenie ya existente. Con ayuda de la abuela se pudo adelantar el destete, aumentar la probabilidad de supervivencia de los niños destetados y, al avanzar el momento del destete, permitir que la hembra volviera a ser fértil y así acortar el intervalo entre nacimientos y aumentar el número de descendientes. En este modelo la compensación se establece entre el riesgo de mortalidad materna por parir y cuidar niños a edad avanzada y el beneficio de la supervivencia que una abuela estéril puede proporcionar a su nieto. El coste de tener un hijo tardío es muy elevado cuando el periodo de dependencia infantil es largo.

Los hombres, como ya se ha reiterado en este estudio, juegan un papel secundario en este terreno, sobre todo en lo que respecta a la lactancia y a la protección del indefenso recién nacido. Por eso la andropausia no existe en la especie humana, porque un cese precoz de la actividad reproductiva en el hombre carecía de valor adaptativo. No se habría ganado nada si la evolución hubiera desarrollado la andropausia, y sí mucho que

perder, desde el punto de vista biológico evolutivo. La capacidad reproductora masculina disminuye con la edad, de la misma forma que van disminuyendo las otras funciones fisiológicas; se denomina senescencia y puede subsistir hasta una edad muy avanzada. Un refrán castellano tradicional reseña esta circunstancia biológica del macho: «Al hombre, más que el pelo y el diente, le dura la simiente».

¿Qué hacía una abuela hace miles de años?

Las abuelas cumplían las mismas funciones que ejerce hoy día cualquier abuelita en cualquier ciudad: cuidar y alimentar a sus nietos, besarlos y abrazarlos, contarles cuentos, enseñarles cosas útiles y vigilarlos mientras juegan. Diversos estudios realizados en tribus de cazadores recolectores, que aún hoy día viven en condiciones muy parecidas a las que vivían nuestros antepasados hace cien mil años, así lo demuestran.

En un grupo de una sociedad de cazadores y recolectores, el cuarenta por 100 de las mujeres son menopáusicas. Por eso la contribución de la abuela es también muy importante para la economía y para la alimentación general de la familia en las condiciones de vida primitivas. Porque, como se ha resaltado, son las mujeres las que más contribuyen a la alimentación del grupo. Las abuelas permiten que cada hembra produzca mayor número de crías, ya que al aumentar la disponibilidad de más alimento facilitan el destete precoz de las crías. De esta forma las abuelas favorecen el incremento de la fecundidad anual de sus hijas. Ya hemos visto que las crías inmaduras de los homínidos necesitan una gran dependencia nutricional tras el destete, lo que reduce la tasa de reproducción. Las abuelas contribuyen a esta alimentación proporcionando a sus nietos alimentos que ellas mismas mastican con sus maltre-

chas dentaduras y que embadurnan de su propia saliva rica en enzimas digestivos hasta fabricar una papilla que es fácil de digerir por los niños recién destetados; esto proporciona a las crías suficiente energía para mantener el costoso crecimiento del cerebro. De esta manera, las hijas podían volver a reproducirse antes y se acortaría el intervalo entre los nacimientos. Las abuelas de la etnia hadza, nómadas que habitan en Tanzania y viven como hace miles de años, recolectan frutas silvestres, miel, insectos y pequeños animales. Incluso se ha calculado que estas mujeres, de hasta ochenta años de edad, son las que proporcionan la mayor cantidad de comida. En estas tribus las abuelas distribuyen la comida primero entre sus hijas y nietos y luego entre sus sobrinos y primos, y así hasta ir cubriendo su mapa genético más cercano.

Las abuelas experimentadas enseñarían un montón de cosas útiles a sus nietos en aquel mundo primitivo: a protegerse de los peligros, a distinguir los pequeños animales comestibles de los que son venenosos, a desenterrar raíces y a recolectar frutas y bayas, eludiendo aquellas que son tóxicas. Estudios realizados entre los hadza muestran que las variaciones de peso de los niños se correlacionan con el tiempo que pasan las abuelas recolectando en el campo. Resultados similares se han tenido con los ¡kung de Sudáfrica y los ye'Kwana de Venezuela.

En estas comunidades las mujeres viejas no sólo contribuyen con la mejora de la alimentación de los niños, sino que, debido a su gran experiencia, son elegibles para alcanzar un estatus especial de autoridad, y llegan a ser capaces de influir sobre la toma de decisiones importantes, realizar labores administrativas, preparar y conservar los alimentos y ejercer la labor docente con los pequeños.

La edad de la menopausia y la esperanza de vida

Los que están en contra de la hipótesis de la abuela argumentan que en la Prehistoria la gente se moría joven, antes de la cuarentena, y por lo tanto antes de que ocurriera la menopausia. Según este punto de vista, la hembra de los homínidos se reproducía hasta que le sobrevenía la muerte, como muy tarde hacia los cuarenta y cinco años. Así, el periodo de esterilidad que observamos hoy en la mujer sería un mero vestigio de inercia filogenética, sin ningún valor adaptativo. La menopausia, según estos autores, sería un mero efecto colateral, secundario a la prolongación de la duración de la vida humana: el periodo fértil se habría quedado «descolgado», no participando en este incremento.

Pero no es cierto que todos los homínidos prehistóricos murieran jóvenes; numerosos datos fósiles así lo atestiguan. Por otra parte, se han estudiado muchas tribus de cazadores y recolectores que viven en la actualidad en condiciones muy similares a las que vivían nuestros antecesores del Paleolítico, y aunque la esperanza de vida es muy baja en estos individuos, en torno a los cuarenta años, algunos, sobre todo las mujeres, llegan a alcanzar edades muy avanzadas. Entre los ache, cazadores recolectores de las selvas de Paraguay, casi la mitad de las mujeres llegan a vivir hasta dieciocho años tras el cese de la menstruación.

Se ha calculado que hace quinientos mil años las mujeres que sobrevivían a la infancia y llegaban a cumplir quince años de edad tenían un cincuenta y tres por 100 de probabilidades de llegar a cumplir cuarenta y cinco años, un tiempo suficiente para sobrepasar la menopausia, que debía de estar en torno a los cuarenta años. Se estima que los *Homo ergaster* podían vivir hasta los setenta años, si no sucumbían a la enorme mortandad

infantil; se postula que nuestra duración máxima de vida ha aumentado en cincuenta años desde *Homo ergaster* hasta nosotros.

La menopausia en nuestros ancestros, como en los actuales cazadores recolectores, ocurría más temprano, entre los treinta y ocho y los cuarenta años. La mejora de las condiciones socioecológicas incrementa significativamente la edad de la menopausia: por ejemplo, ocurre a los cuarenta y cuatro años en África central, a los cuarenta y nueve años en las mujeres americanas, y a los cincuenta y uno en Holanda. La edad de la menopausia está influida por numerosos factores hereditarios y ambientales. En las sociedades desarrolladas actuales, las mejores condiciones de vida y de alimentación han retrasado la edad de la menopausia hasta la cincuentena.

El mecanismo íntimo de la menopausia

¿Cómo es que las mujeres, con una expectativa máxima de vida de cien años, sufren la menopausia entre los cuarenta y los sesenta años de edad, mientras que el resto de hembras de las otras especies que pueblan el planeta intentan reproducirse hasta casi el momento de morir?

Las causas inmediatas de la senescencia reproductora en las hembras de los mamíferos es el agotamiento de los oocitos ováricos, lo que se acompaña de cambios degenerativos en los elementos del sistema neuroendocrino asociados con la reproducción.

La aparición de la menopausia viene determinada por dos factores fundamentales: de una parte, el número de óvulos formados en el ovario durante el periodo fetal de desarrollo; de otra, la velocidad a la que se pierden los óvulos a lo largo de la vida mediante dos procesos: la ovulación y la degeneración de

los folículos ováricos por atresia. Los ovarios de la mujer al nacer contienen unos dos millones de oocitos. Este número declina por atresia hasta unos trescientos mil, que son los que están presentes en el ovario al comienzo de la pubertad. A partir de la pubertad comienza la ovulación en ciclos de veintiocho días aproximadamente, y por este mecanismo se pueden llegar a perder como máximo unos quinientos oocitos. Durante el periodo de madurez sexual, los folículos ováricos producen suficientes estrógenos para mantener el ciclo hormonal activo. La inmensa mayoría de los óvulos van degenerando con el paso del tiempo, hasta que hacia los cuarenta años sólo restan unos pocos. Cuando el número desciende por debajo de un determinado nivel, la producción de estrógenos es insuficiente y cesan los ciclos menstruales que se iniciaron con la pubertad. Tanto el número de oogonias formadas durante el desarrollo fetal como la velocidad de degeneración son específicos de esta especie. El proceso de atresia también parece estar bajo control genético, posiblemente del tipo de apoptosis, o muerte celular programada. Al parecer se requieren determinados genes localizados en el cromosoma X para mantener la función ovárica.

A lo largo de la evolución fue aumentando la expectativa de vida biológica, manteniéndose constante la edad de la menopausia, lo que produjo un aumento de la duración de la vida posmenopáusica. No está claro por qué el tamaño del *stock* inicial de oocitos no se incrementó en línea con el aumento de la longevidad humana. Tampoco hay justificación de por qué una mayor duración de la vida no evolucionó con mecanismos más eficaces de reparación celular.

En efecto, si comparamos a la hembra de chimpancé y a la mujer, vemos que en el chimpancé el periodo de vida fértil va desde los ocho años hasta los treinta y ocho, suponiendo una vida máxima de cuarenta años. Es decir, son treinta años de fertilidad, que cesa sólo dos o tres años antes de morir. En la mu-

jer, la vida fértil va desde los quince años hasta los cuarenta y cinco, suponiendo una vida máxima de noventa años. Es decir, que son treinta años de vida fértil, como en el caso de la hembra de chimpancé, pero que se siguen de otros tantos de vida no reproductiva.

¿Para qué servían los calores?

La menopausia, con la consiguiente larga vida posreproductiva que experimentan las mujeres, fue un hecho ventajoso para la evolución, ya que aumentaba la adaptabilidad de la hembra. En este sentido, es lógico pensar que las mujeres menopáusicas no deberían sufrir ninguna consecuencia negativa para su salud, más allá del normal deterioro relativo al propio proceso de envejecimiento general del organismo. Pero las consecuencias subjetivas y objetivas para la salud de la mujer son un hecho incuestionable: ¿podrían ser los residuos, hoy negativos, de funciones muy positivas para nuestros ancestros hace miles de años? Consideremos algunos ejemplos.

Los cambios hormonales que experimentan las mujeres en la menopausia suponen una cierta virilización. Al reducirse la producción de estrógenos hay un predominio de los andrógenos (hormonas masculinas) que toda mujer produce en pequeñas cantidades. Este proceso afecta al aspecto físico, con el endurecimiento de las facciones, el cambio en la distribución de la grasa corporal, el aumento del vello o el cambio de tono de la voz y también el aspecto psíquico, con comportamientos más agresivos. Cabe pensar que estas características fueron seleccionadas porque proporcionaban una ventaja para la supervivencia de la especie.

Es interesante considerar que las hembras menopáusicas debieron de ejercer dentro del grupo de homínidos otras funcio-

nes importantes, además de las de cuidar y alimentar a sus nietos. A causa de la mayor mortalidad del macho que, como hoy en día, en aquel entonces tendría una esperanza de vida menor que las hembras, las abuelas se constituían en los individuos de más edad y de mayor experiencia del grupo. Helen Fisher las ha catalogado como «bibliotecas vivientes»; las ancianas sabias que habían acumulado conocimientos sobre las plantas curativas y nutritivas, sobre modos de curar heridas y de asistir en los partos. Las hembras menopáusicas adquirían poder ya que eran las abuelas quienes conservaban las tradiciones de la tribu. Estas hembras menopáusicas debían de asumir la autoridad de la tribu sobre los hogares de sus hijas, sus parejas y sus hijos. Numerosos estudios antropológicos realizados sobre tribus primitivas, por todos los rincones del planeta, muestran que en las sociedades tradicionales estudiadas, la mujer posmenopáusica alcanza algún tipo u otro de poder: económico, social, político o espiritual.

Queda por interpretar, en el contexto de la evolución, el conjunto de manifestaciones colaterales que acompañan al proceso del climaterio. El descenso gradual y el cese de la función ovárica se acompañan de una serie de manifestaciones, entre las que destacan: la irritabilidad, los dolores de cabeza, los cambios de humor, la depresión, el cansancio, los dolores articulares y, lo que experimentan en más de un setenta por 100 de las mujeres, los sofocos y las sudoraciones. Son misteriosos los mecanismos por los que se producen estos fenómenos colaterales. Desde el punto de vista de la evolución, se ha interpretado que la selección natural los fomentó en nuestra especie como «señales de cese de la reproducción». La hembra de homínido próxima a la menopausia experimentaría una serie de sensaciones y molestias que la obligaban a aislarse del resto, a responder con brusquedad y agresividad en determinadas circunstancias, sobre todo ante los requerimientos sexuales de los

machos, y que señalaría con claridad a los miembros del clan que era una hembra que dejaba de ser fértil. El mensaje llegaba directo y con transparencia a todos los machos del clan: «No te acerques a mí, que no estoy para fiestas».

La menopausia no es una enfermedad

La menopausia no puede ser considerada como una enfermedad de deficiencia hormonal como podría ser la diabetes, en la que hay una deficiencia de la hormona insulina, o el hipotiroidismo causado por una menor secreción de hormonas tiroideas. Ninguna enfermedad es un fenómeno universal para el ser humano. La menopausia la experimentan todas las mujeres que vivan más de sesenta años, por lo tanto es un fenómeno fisiológico adaptativo, que en su momento tuvo una gran importancia para la evolución de nuestra especie; la menopausia no es el fin de la capacidad de las mujeres para dar vida, es un fenómeno natural destinado a conservar la vida de las criaturas que otras mujeres hacen nacer.

Una de las consideraciones negativas de la menopausia es que favorece el desarrollo de problemas sanitarios de gran importancia hoy día, como son la osteoporosis y las enfermedades cardiovasculares, que tienen sus propias historias naturales, y que hay que considerar de forma separada de la historia natural de los folículos ováricos y de la menopausia. La etiología de la osteoporosis y de las enfermedades cardiovasculares son multifactoriales y en gran parte están condicionadas por los patrones de alimentación, de sedentarismo y por los hábitos perjudiciales que afectan a las mujeres en la sociedad desarrollada actual, y que están tan alejados de los que debieron de disfrutar las hembras de homínidos hace quinientos mil años.

Por ejemplo, si una mujer de cincuenta y cinco años es fu-

madora, come demasiados dulces y grasas saturadas, tiene sobrepeso, el colesterol elevado, es hipertensa y nunca ha realizado ejercicio físico de forma sistemática, no puede achacar su mayor propensión a desarrollar un infarto de miocardio a la falta de estrógenos ocasionados por la menopausia. La falta de estrógenos saca a relucir una situación de riesgo que, probablemente, arrastra desde muchos años atrás.

Respecto a la osteoporosis, está bien demostrado que todas las mujeres alcanzan el llamado «pico de masa ósea», es decir, la mayor cantidad de calcio acumulado en sus huesos, hacia los treinta años de edad. A partir de ahí todo es perder hueso, como un proceso más del envejecimiento. Esta pérdida se acelera a partir de la menopausia. Pero la actitud razonable respecto a este grave problema es la prevención, procurando alcanzar el pico de masa ósea más elevado posible y luego retrasar la pérdida progresiva de calcio que sucede entre los treinta y los cincuenta años. Sólo hay una forma de incrementar el contenido de calcio en los huesos, y ello incluye la realización de tres medidas conjuntas: dieta rica en calcio, aporte suficiente de vitamina D y ejercicio físico diario; el tercero es el factor más importante de los tres.

El peligro de los estrógenos

A lo largo de toda la vida fértil, la mujer experimenta elevaciones cíclicas en los niveles de los estrógenos en sangre coincidiendo con el ciclo menstrual. Tras la menstruación, los estrógenos comienzan a elevar sus niveles en sangre y así permanecen elevados hasta un par de días antes de la siguiente menstruación. Luego, todo vuelve a empezar si no ha ocurrido la fecundación del óvulo. Los estrógenos son, por tanto, hormonas que están presentes en el organismo de la mujer desde

las pocas semanas de vida intrauterina. Sin embargo, se sabe que los estrógenos estimulan el crecimiento de las células del cáncer de mama y del cáncer de endometrio. Estos efectos perjudiciales de los estrógenos se potencian cuando se administran artificialmente después de la menopausia. ¿Cómo es posible que una hormona natural sea cancerígena? ¿Es, quizá, un asunto de dosis?

Las hembras de los homínidos primitivos, como las de las sociedades de cazadores recolectores que viven en la actualidad, tenían muy pocos ciclos menstruales a lo largo de su vida y, por tanto, estaban muy poco expuestas a elevaciones de los niveles de estrógenos en sangre. Se ha calculado, estudiando mujeres que viven hoy en condiciones muy primitivas, que estas mujeres pasan un total de cinco años embarazadas y unos quince años amamantando a sus hijos; en las condiciones primitivas la lactancia inhibe la menstruación. Esto supone que las mujeres primitivas sólo pasaban unos cinco años de su vida fértil teniendo ciclos ováricos normales, con sus elevaciones de estrógenos correspondientes. En contraste, en las mujeres de los países desarrollados se da un fenómeno que nunca se había visto en la historia de la humanidad, el pasarse más de treinta y cinco años de su vida con ciclos ováricos normales, con sus correspondientes elevaciones periódicas de los niveles de estrógenos en sangre. Se aumenta el riesgo de cáncer por la exposición reiterada, cada ciclo menstrual a lo largo de toda la vida, a elevadas concentraciones de estrógenos de aquellos tejidos con receptores estrogénicos, como la mama y el endometrio uterino. Es conocido que uno de los factores que incrementa el riesgo de cáncer de mama es el no haber engendrado hijos.

Desde este punto de vista se podía sugerir que el valor adaptativo de la reducción drástica en los niveles de estrógenos tras la menopausia serviría para contrarrestar las sobrecargas estrogénicas cíclicas padecidas a lo largo de la vida fértil de una mujer.

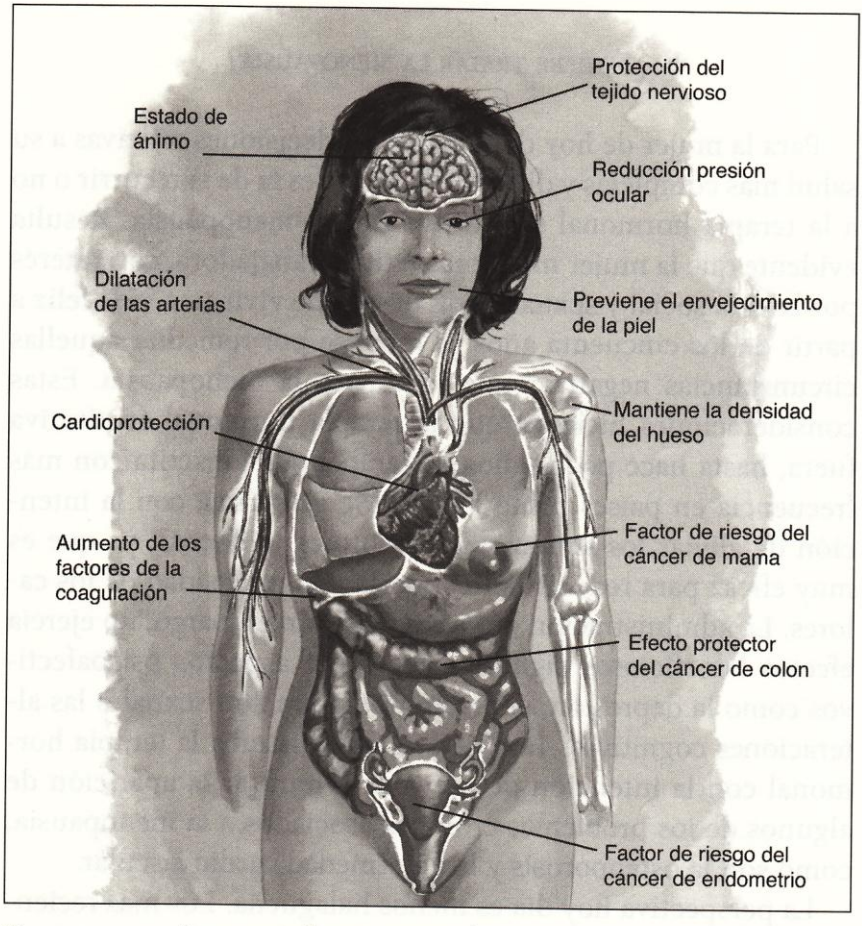

FIGURA 15.3. Las cosas buenas y malas que hacen los estrógenos.

Los estrógenos, las hormonas femeninas, cumplen importantes misiones a lo largo de la vida de la mujer hasta que dejan de producirse al llegar la menopausia. La prolongación artificial de los niveles elevados de estrógenos tras la menopausia mediante la llamada terapia hormonal sustitutiva, puede acarrear algunos problemas para la salud. Los estrógenos están involucrados en el desarrollo de algunos tipos de cáncer, en especial el cáncer de endometrio y el cáncer de mama, pero también en la mujer menopáusica ejercen beneficios para la salud: retrasan la pérdida de calcio de los huesos, previenen la enfermedad cardiovascular... (Figura elaborada a partir de datos de C. J. Gruber *et al.*, 2002.)

¿SE DEBE TRATAR LA MENOPAUSIA?

Para la mujer de hoy día, una de las decisiones relativas a su salud más complejas y difíciles de tomar es la de si recurrir o no a la terapia hormonal sustitutiva tras la menopausia. Resulta evidente que la mujer moderna, activa, trabajadora, con interés por la vida social y sexual y con deseos de vivir una vida feliz a partir de los cincuenta años se interese por remediar aquellas circunstancias negativas que le acarrea la menopausia. Estas consideraciones hicieron que la terapia hormonal sustitutiva fuera, hasta hace pocos años, la terapéutica prescrita con más frecuencia en países como EE.UU. Se prescribía con la intención de aliviar los síntomas vasomotores (sofocos), ya que es muy eficaz para reducir la frecuencia y la intensidad de los calores. La administración de estrógenos, sin embargo, no ejercía efectos beneficiosos significativos sobre aspectos psicoafectivos como la depresión, el insomnio, la función sexual o las alteraciones cognitivas. También se administraba la terapia hormonal con la intención de prevenir o retrasar la aparición de algunos de los problemas crónicos asociados a la menopausia, como son la osteoporosis y la enfermedad cardiovascular.

La perspectiva hoy día es menos halagüeña. Los más recientes estudios han demostrado con claridad que la terapia hormonal sustitutiva no frena la tendencia a desarrollar problemas coronarios y puede ocasionar otros riesgos más serios.

En la década de 1990 se pusieron en marcha ensayos clínicos multicéntricos para analizar científicamente los riesgos y los beneficios de la terapia hormonal sustitutiva. Uno de estos estudios incluía a más de veintisiete mil mujeres sanas posmenopáusicas que eran tratadas con estrógenos o con un placebo. El estudio tuvo que ser interrumpido a los pocos años de su inicio al constatar que las mujeres tratadas con estrógenos de-

sarrollaban complicaciones como embolias pulmonares, cáncer de mama y cáncer de endometrio. Las conclusiones fueron claras: dos casos de complicaciones graves por cada mil mujeres tratadas durante un año. Tras cinco años de tratamiento, el riesgo de desarrollar una complicación grave ascendía a un caso por cada cien mujeres tratadas. El riesgo era inaceptable, superaba con creces los beneficios.

¿Cuáles son las recomendaciones actuales? Se aconseja que sea el médico quien prescriba cualquier tratamiento y que, en colaboración con la interesada, evalúe los riesgos y los beneficios. Si se opta por tomar estrógenos, debe comenzarse por dosis pequeñas que pueden aumentarse gradualmente hasta que los síntomas vasomotores se controlen de forma adecuada. Estos sofocos y sudoraciones normalmente desaparecen en pocos meses. Se desaconseja que la terapia hormonal sustitutiva se prolongue más allá de cinco años, salvo en determinadas circunstancias clínicas.

¿Y qué es lo que se debe tomar? Debe ser el especialista quien prescriba en cada caso la medicación más conveniente. Existen numerosos preparados comerciales a base de estrógenos con o sin progestágenos y que se pueden administrar mediante parches, pastillas o inyecciones. Una alternativa muy popular es la de recurrir a los llamados estrógenos vegetales. Algunas plantas contienen unas moléculas de estructura parecida a los estrógenos, que se conocen con el nombre de fitoestrógenos. Pueden ser útiles para aliviar síntomas subjetivos, ya que eliminan los sofocos en la mitad de los casos leves y mejoran en un diez por 100 los problemas crónicos. Todos los fitoestrógenos comparten una peculiaridad estructural, un anillo fenólico que les sirve para unirse a los mismos receptores a los que se unen los estrógenos naturales; de esta forma ejercen varias acciones hormonales y no hormonales en el organismo. Los fitoestrógenos más eficaces son los lignanos y las isoflavo-

nas; éstas se encuentran en las proteínas de la soja. Hay que tener en cuenta que estos productos no son absolutamente inocuos y que suman sus efectos si se utilizan en combinación con las hormonas prescritas por el médico. La buena noticia es que se está produciendo un progreso rápido en el desarrollo de nuevas moléculas derivadas de los estrógenos que poseen propiedades beneficiosas para suprimir los efectos negativos de la menopausia, sin pagar el precio de desagradables efectos colaterales.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez, H.P., «Grandmother hypothesis and primate life histories», *American Journal of Physical Anthropology*, 113, 2000, pp. 435-450.

Campillo, J. E., *Las biografías de Eva. La evolución humana a través de la hembra de la especie*, Editrice Curtis, Milán, 2001.

—, «Importancia de la menopausia en la evolución humana. La hipótesis de la abuela», en *La edad de la menopausia*. Ediciones Díaz de Santos, Madrid, 2003.

Demaret, A., y P. Maréchal, «L´approche èthologique de la ménopause: une introduction à la medecine évolutioniste», *Rev. Med. Liege*, 54, 1999, pp. 667-670.

Fisher, H., *El primer sexo*, Taurus, Madrid, 2000.

Grady, D., «Postmenopausal hormone therapy for symptoms only», *New England Journal of Medicine*, 348, 2003, pp. 1.835-1.837.

Gruber, C. J., *et al.*, «Production and actions of estrogens», *New England Journal of Medicine*, 346, 2002, pp. 340-352.

Hawkes, K., *et al.*, «Grandmothering, menopause and evolution of human life histories», *Procceedings of National Academy of Sciences USA*, 95, 1998, pp. 1.336-1.339.

Herrington, D. H., y T. D. Howard, «From presumed benefit to potential harm. Hormone therapy and heart disease», *New England Journal of Medicine*, 349, 2003, pp. 519-521.

Leidy, L. E., *Menopause an evolutionary perspective. A Evolutionary Medicine*, Oxford University Press, Nueva York, 1999.

Manson, J. E., y K. A. Martin, «Postmenopausal hormone replacement therapy», *New England Journal of Medicine*, 345, 2001, pp. 34-40.

Peccei, J. S., «A critique of the grandmother hypothesis: old and new», *American Journal of Human Biology*, 13, 2001, pp. 434-452.

Perls, T. T., y R. C. Fretts, «The evolution of menopause and human life span», *Annals of Human Biology*, 28, 2002, pp. 237-245.

Setchell, K. D. R., «Phytoestrogens: the biochemistry, physiology and implications for human health of isoflavones», *American Journal of Clinical Nutrition*, 68 (supl), 1998, pp. 1.333-1.346.

Shanley, D. P., y T. B. Kirkwood, «Evolution of human menopause», *Bioessays*, 23, 2001, pp. 282-287.

Trevathan, W. R., «Evolutionary obstetrics», en, *Evolutionary Medicine*, Oxford University Press, Nueva York, 1999.

Algunas direcciones de Internet:
www.aeem.es
http://www.unizar.es/gine/menopausia.htm

16

NOSOTROS

LA ÚLTIMA GLACIACIÓN

HACE VEINTE MIL AÑOS, *Homo sapiens*, con todo el potencial cerebral necesario ya desarrollado al completo, se enfrentaba a la última prueba decisiva: la gran glaciación. Este último máximo glacial fue el auténtico banco de pruebas de su adaptación biológica. Si superaba el envite, la especie humana sería dueña del mundo.

Se produjeron nuevos cambios en la órbita y en el eje de rotación de la Tierra. Se enfrió el clima y cesaron las reiteradas y breves épocas cálidas que se habían prodigado durante el periodo de entre los cincuenta mil y los treinta mil años anteriores. El frío era intenso, los hielos árticos avanzaron y el casquete polar llegó hasta las islas británicas. El hielo alcanzaba en algunos lugares varios kilómetros de espesor. Su avance produjo un secuestro de agua sobre los continentes, lo que ocasionó un nuevo descenso del nivel de mar de unos ciento treinta metros. Estos procesos redujeron la cantidad de agua evaporada y desencadenaron una sequía generalizada en el planeta. Los desiertos de todo el mundo se ensancharon, tanto los polares (a

causa del frío), como los de arena (por la sequía). Se produjo el aislamiento de grandes zonas del mundo por barreras infranqueables. La situación provocó una auténtica catástrofe demográfica que obligó a las poblaciones a emigrar nuevamente por toda Eurasia.

¿Qué ocurrió con nuestros antecesores que llevaban instalados en Europa desde hacía cuarenta mil años? Los neandertales habían desaparecido diez mil años antes de este máximo glacial. Los cromañones (nosotros) se concentraron en unas pocas regiones templadas del sur de Europa y de Asia, donde podían beneficiarse de un clima más tolerable. Estas zonas son, entre otras, el sur de Francia y el norte de España, Italia, una zona amplia en torno al mar Negro y la zona alrededor del llamado Creciente Fértil, en Oriente Medio y el valle del Nilo.

Pero al final el pico de frío intenso de la glaciación se fue atenuando. La temperatura del planeta comenzó a ascender lentamente, como caracteriza a los periodos interglaciales, con amplias oscilaciones: a unos siglos de temperaturas más benignas, le seguían otros siglos más fríos; pero las condiciones iban siendo cada vez menos severas. Hace unos diez mil años se fundieron definitivamente los hielos que habían sepultado Europa durante milenios y terminó la glaciación.

Los supervivientes a esos miles de años de frío y de penalidades exhibían ya todas las cualidades cerebrales y fisiológicas que poseemos nosotros hoy en día. Estos antepasados ya disponían de fuego permanente, lo que les proporcionó seguridad y amplió notablemente sus posibilidades de alimentación. Poseían armas eficaces capaces de matar a distancia, y utensilios variados con los que podían realizar todas las tareas imprescindibles para llevar una vida más cómoda. En algunos yacimientos se han encontrado abundantes agujas y punzones hechos de hueso, con los que confeccionaban vestidos de pieles para abrigarse. También fabricaban toscas vasijas y recipientes para cocinar

y para almacenar el agua y los alimentos. Construían cabañas revestidas de pieles sobre un armazón de huesos de mamut, en las que mantenían hogares permanentemente encendidos para calentarse, para cocinar o para protegerse. Todo ello les proporcionó la suficiente tranquilidad y la seguridad de espíritu necesarias para distraerse en generar pensamientos abstractos, lo que permitió el desarrollo de la imaginación y del arte.

La ganadería y la agricultura

Este calentamiento progresivo alcanzó un óptimo interglacial, el último hasta la fecha, hace ocho mil años. Durante dos mil años se incrementó la temperatura del planeta, se produjo la fusión de los hielos y aumentó la circulación del agua y la humedad en todo el planeta. El Sahara y los desiertos de Oriente Medio, como el desierto del Sinaí, se convirtieron en praderas con abundantes lagunas, repletas de animales. Las maravillosas pinturas de los riscos del Sahara central, de unos ocho mil años de antigüedad, demuestran la existencia de pobladores que pintaron miles de imágenes naturalistas de búfalos, de elefantes, de rinocerontes, de hipopótamos, de jirafas, de avestruces y de antílopes. Pero este exuberante paraíso duró poco, la pradera desapareció, la fauna retrocedió y el desierto volvió a imponerse. Las pinturas posteriores, datadas en cinco mil años, sólo muestran camellos.

Con la bonanza climática debió de aumentar la densidad de la población, lo que ocasionó una mayor dificultad para la caza y el nomadismo. Se agotaban enseguida los recursos en los alrededores de los emplazamientos de los clanes. Es posible que en los últimos siglos de la época glacial, cuando el frío intenso iba cediendo, nuestros ancestros aprendieran a retener entre ramas y troncos de árboles a algunas presas que lograban

atrapar vivas, cuando eran apenas unas crías. Los animales así encerrados, en toscos corrales cerca de sus viviendas, constituían una reserva de alimentos siempre disponibles. Así se supone que fueron los inicios de la ganadería. Luego, poco a poco, mediante hallazgos casuales y observaciones meticulosas, comenzaron a sembrar algunas semillas al lado de sus refugios para luego recolectarlas. De esta manera, siglo a siglo, se fueron desarrollando los rudimentos de esos grandes logros de la creatividad de *Homo sapiens sapiens* que fueron la agricultura y la ganadería.

Los datos paleobotánicos y arqueológicos señalan que la agricultura se desarrolló hace unos diez mil años en varias regiones del mundo, pero coinciden en señalar algunas zonas de Oriente Próximo como el lugar donde surgió la agricultura ya de una forma sistemática y reglada. Desde allí se extendió por el resto de Europa y de Asia, lo que al parecer ocurrió en un avance radial, a un ritmo de un kilómetro por año. La adopción de la agricultura y la ganadería no fue tan explosiva que pueda calificarse de «revolución agrícola», pero no obstante requirió sólo unos pocos miles de años para generalizarse por Europa y por Asia.

El ritmo de desarrollo de la agricultura no fue similar en todos los lugares a causa del aislamiento de las poblaciones y de las particulares condiciones climatológicas. Por ejemplo, la agricultura se retrasó mucho en América, donde algunas comunidades apenas practicaban la agricultura antes de que los españoles descubrieran el continente. Y, por ejemplo, los aborígenes australianos, algunas tribus de África y ciertos isleños de Oceanía nunca han desarrollado la agricultura.

Con la agricultura se frenó el nomadismo, se crearon las aldeas, se promovió la fabricación de rudimentarias vasijas de barro y de madera y pronto se desarrollaron las primeras industrias de transformación de alimentos, como la fabricación de

pan o la fermentación de frutas que proporcionaron las bebidas alcohólicas. También se procesaron los alimentos de origen animal para su conservación: la carne curada, el pescado ahumado y el queso. El secado de trozos de carne al aire frío debía de ser una práctica que se venía haciendo desde miles de años atrás. Y también el ahumado de la carne y del pescado.

Las ciudades

Con el avance de los siglos las sociedades humanas fueron pasando desde los modelos de predación, es decir, de sociedades nómadas de cazadores y recolectores, a las sociedades de producción, agrícolas y ganaderas. Con el tiempo, los poblados de cabañas frágiles y rudimentarias se fueron transformando en asentamientos permanentes, con construcciones realizadas mediante materiales más consistentes; es entonces cuando surgen las primeras ciudades.

Las ciudades y el incremento demográfico permitieron la aparición del concepto de los bienes materiales y de la propiedad privada, la especialización productiva, la división de funciones y los intercambios comerciales. Comenzó la fabricación de herramientas, la carpintería, los albañiles, la elaboración de cerveza, la fabricación de pan, la domesticación de animales, la defensa contra los enemigos, etc.

Estos procesos fueron muy lentos y durante milenios convivieron gentes que componían mezclas variadas de todas las posibilidades de organización social. Seguían existiendo grupos de cazadores recolectores móviles, también grupos de cazadores recolectores más especializados asentados en poblados y agricultores y ganaderos afincados en ciudades.

La arqueología señala que las primeras ciudades, de las que se conservan restos reconocibles, surgieron en el Creciente

Fértil, la franja de tierra al este del mar Mediterráneo, en forma de media luna. Jericó era una ciudad amurallada hace siete mil años. Hace seis mil años existía la ciudad de Catal Huyuc en Anatolia. La cultura de Tell Halaf se desarrolló hace cinco mil años y los descubrimientos arqueológicos demuestran que trabajaban la piedra y la obsidiana, elaboraban tejidos, utilizaban el cobre y el plomo y fabricaban cerámica decorada con dibujos en negro, blanco y rojo.

Estas metrópolis ya desarrollaron las instituciones, la legislación y la religión de una forma reglada. Y luego, pocos años después, ya la humanidad entró en la historia con las culturas sumeria, egipcia y babilónica.

Los genes de la Edad de Piedra y el futuro

Los seres humanos del siglo XXI somos genéticamente idénticos a nuestros ancestros de hace veinte mil años. Ha trascurrido muy poco tiempo para que la selección natural modifique las características esenciales de un organismo. Según los genetistas, sólo menos de una milésima parte de nuestro genoma ha cambiado en ese lapso de tiempo.

Esto quiere decir que seguimos poseyendo los mismos genes y los mismos mecanismos que desarrollaron nuestros antecesores a lo largo de los millones de años de evolución que acabamos de recorrer en estas páginas. Los problemas surgen ahora cuando nuestros genes de la Edad de Piedra friccionan con las formas de vida de la Era Espacial; de esto trata una prometedora rama de la ciencia médica: la medicina darviniana o evolucionista.

La selección natural dejó de guiar la evolución de la especie humana hace unos diez mil años: a partir del desarrollo de la agricultura y la artesanía y posteriormente de la industria. A lo

largo de estos miles de años, los logros tecnológicos de *Homo sapiens sapiens* le han permitido modificar el medio ambiente a su conveniencia, en lugar de tener que adaptarse a los cambios en el entorno mediante la selección natural. Es decir, la evolución humana ya no avanza como en las demás especies, porque el mecanismo fundamental, la selección natural, ya no está operando. Ahora predominan los factores sociales, culturales y tecnológicos como fuerzas del cambio. Ha tomado el relevo una poderosa fuerza, desconocida hasta entonces: la evolución cultural, cuyas transformaciones son muy rápidas y se hacen evidentes en apenas una década. El proceso por el que se transmite la información no es genético, sino cultural, y esta transmisión es acumulativa, puesto que cada generación lega, ya sea de forma oral o por escrito, su acervo completo a las siguientes generaciones. Esta herencia cultural, no genética, es la única forma posible de heredar los caracteres adquiridos.

Con *Homo sapiens sapiens* se produce otra innovación en la biosfera cuyas repercusiones son extraordinarias: la selección artificial. Mediante este instrumento el ser humano es capaz de influir sobre la evolución de animales y plantas y produce razas y variedades nuevas, adaptadas a sus necesidades. Posiblemente el Hombre de Cromañón ya empezó a seleccionar perros y caballos, potenciando sus cualidades beneficiosas, las que le proporcionaban una utilidad práctica (docilidad, domesticación) y restringiendo sus defectos (agresividad excesiva). Por medio de la selección artificial, el hombre ha llegado a producir en veinte mil años muchos tipos de razas y variedades de animales y plantas. Con los mecanismos de selección artificial de vegetales y animales nacieron la agricultura y la ganadería. Definitivamente, el hombre ya no necesitaba evolucionar para adaptarse a un entorno cambiante: sólo tenia que cambiar el entorno para adaptarlo a sus necesidades. Así terminó la evolución y comenzó la historia.

La fuerza que ha guiado a la humanidad en los últimos cuatro millones de años ha permitido el desarrollo de un cerebro que hace posible que unos seres extremadamente débiles compensen sus deficientes condiciones físicas, mediante la fabricación de diversos utensilios, maquinarias y armas. No hay grandes diferencias conceptuales entre un cuchillo de pedernal y un bisturí de acero: sólo una mayor cantidad de tecnología; lo mismo ocurre entre un arco y sus flechas y una bomba atómica. Todo ello es fruto del aumento del tamaño y la complejidad de nuestro cerebro y de la acumulación de conocimientos logrados mediante la transmisión cultural.

¿Seguiremos evolucionando? Probablemente la respuesta es afirmativa, pero no podemos estar seguros en qué dirección lo haremos. En los últimos dos millones de años nuestra evolución ha estado presidida por el crecimiento de nuestro cerebro en tamaño y complejidad. Pero existe un obstáculo infranqueable para que continúe la evolución de la especie humana en esta dirección: la imposibilidad de que el cerebro aumente de tamaño y complejidad de forma ilimitada. El organismo de la mujer, una vez más, es quien controla el proceso: no se puede ensanchar más el canal del parto, ni se puede incrementar la inmadurez de los recién nacidos; ambas adaptaciones se han explotado, probablemente, hasta el límite de sus posibilidades. Pero recientemente la especie humana ha encontrado un modo de proseguir la evolución de nuestro cerebro hasta límites infinitos: con la invención de la informática.

Y llegados hasta aquí, ¿cuál es nuestro futuro?

El destino de cualquier especie, animal y vegetal, es el de desaparecer. Hace cientos de miles de años había media docena de especies de homínidos. Hace cincuenta mil años todavía quedaban tres: nosotros, los neandertales en Europa y *Homo erectus* en Asia. Actualmente estamos solos. Cuando todo un linaje, de cualquier especie, animal o vegetal, se estrecha hasta el

punto de no dejar más que una sola muestra, el peligro de la extinción se acerca. Es posible que dentro de unos años, posiblemente no tantos, ya no existamos, porque con nuestro cerebro y sus incontroladas prolongaciones nos habremos borrado del mapa. El hombre aparecerá entonces como una más de las múltiples experiencias momentáneas en la historia de la vida, quizá una de las más desacertadas, desde un punto de vista biológico.

No obstante, si tenemos una salvación, si nos queda un resquicio para la esperanza, creo que será de nuevo en la hembra de la especie, en la mujer, en quien resida la responsabilidad de lograr tal proeza.

BIBLIOGRAFÍA

Baur, M., y G. Ziegler, *La aventura del hombre*, Maeva, Madrid, 2003.
Oppenheimer, S., *Los senderos del Edén*, Crítica, Barcelona, 2004.
Skyes, B., *Las siete hijas de Eva*, Debate, Madrid, 2001.
VV. AA., *El origen del hombre moderno*, Prensa Científica, Barcelona, 1993.

ÍNDICE ALFABÉTICO

abejas, sacrificio de la fertilidad en las, 230
abuelas
  exclusividad en la especie humana, 239-240
  mecanismo evolutivo para crear, 244-246
  transformación de madres en, 240-242
ache, tribu de cazadores recolectores de Paraguay, 194-195, 251
ácido desoxirribonucleico (ADN), 19, 22, 23, 44, 108
  análisis de los cambios en la estructura del, 39-40
  mitocondrial y la teoría de la Eva Negra, 209
  proceso de replicación del, 24-25
ácido docosahexanoico (DHA), 164
ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena (LcPUFA), 141-143, 164-165, 212
acné, como señal de atracción sexual, 75
Adán Negro, teoría del, 209
África, éxodos desde, 135-136, 210-214
agricultura, inicios de la, 268
albatros, monogamia entre los, 108
alelos, genes, 119-120
Alemania, homosexuales en, 235
alimentación, 20
Altamira, cueva de, 216
altruismo genético, 21-22
  y la selección parental, 197-199
amenorrea (ausencia de la menstruación), 223-226
  durante la anorexia, 227-229
  lactacional, 184
aminoácidos, 40
amor, utilidad evolutiva del, 200-203
andrógenos, hormonas masculinas, 30, 254
andropausia, ausencia en la especie humana de la, 248-249
Angelman, síndrome de, 152
anorexia nerviosa, 227-229
anovulación, 223-226
  durante la anorexia, 227
ánsar, monogamia en el, 108
antígenos del complejo mayor de histocompatibilidad (MHC), 120-121, 233

araquidónico, ácido graso, 142
árbol evolutivo, 42-43
árboles filogenéticos o dendogramas, 40
Ardipithecus ramidus, 43, 48-49, 51-52, 82, 101
  parto en los, 167-168
aristogamias, sistemas, 230
asimetría fluctuante, como factor de atracción sexual, 68
Atapuerca, fósiles en la sierra de, 137
atracción sexual, mecanismos cerebrales de la, 30-31, 60-64
atractivos sexuales delanteros, 70-73
atresia, proceso de, 253
Australia, poblamiento de, 213
australopithecinos, 51-52, 95, 109
  canal de parto de los, 168-174
  pelvis de los, 56
Australopithecus afarensis, 43, 50, 52-55, 72, 86, 101, 111, 116, 118, 128
  tamaño del cráneo, 172, 180
Australopithecus africanus, 55
  pelvis de un, 56
Australopithecus anamensis, 55
Australopithecus bahrelghazali, 55
aves, monogamia en las, 102, 107, 203
Awash, río, en el país de los Afar, 48-50, 210
Ayala, Francisco, 33

Bab el Mandeb, estrecho de, 135
bacterias, reproducción de las, 26
ballenas piloto, desarrollo de una menopausia en las, 243, 245
Bangladesh, maduración sexual en niñas de, 223
Barash, D. P., 221
Biblia: Génesis, 11
bipedestación, facultad de la, 43, 45, 51, 54
  y las transformaciones en el aparato genital de la hembra, 70, 72, 83-85, 114, 169
  y la liberación de las manos, 180
Blanchard, investigador, 233
bonobos, chimpancés pigmeos, 92, 107
  cópula de los, 83
Border Cave (África del Sur), yacimiento de, 212
BST, núcleo (basal de la estría terminal), 64
Buckland, William, reverendo, 207
bulimia, 231

cadera
  evolución del cerebro en relación a la, 12
  de Lucy, 50-52
calostro, segregación del, 185
cáncer de endometrio, 258-259, 261
cáncer de mama, riesgo del, 258, 261
carne y grasa de animales, alimentación de, 129-130
carroñeo, actividad del, en el *Homo ergaster*, 131-134
Catal Huyuc, en Anatolia, 270
cazador, mito del, 131-135
celo, época de, 112-114
  comportamiento en, 117-119
cerebro
  consumo energético del, 147-148, 181
  crecimiento durante el embarazo, 155-156, 164, 174
  durante la infancia, 193
  evolución del, 17, 45, 139-145
  del *Homo ergaster*, 127-128
  mecanismos de atracción sexual y el, 30-31
  mecanismos reflejos en el, 65
  papel de la madre en el desarrollo del, 151-152
  grasa del niño y tamaño del, 181-182
  volumen del, 11-12, 146
Chad, fósiles en la región del, 55
Chauvet (Francia), cueva de, 216

Chesterton, lord, 59
chimpancés
cerebro de los, 174
competencia espermática, 87, 110
fertilidad hasta edad evanzada, 243, 253
identidad genética del, 34, 40
lactancia en los, 187
línea evolutiva del, 47-48
movilidad del, 49-50
organización parental de los, 102, 195
parto en los, 167, 174
pelvis de un, 56
poliginandria entre los, 105-106
promiscuidad entre los, 105-106
chimpancés pigmeos, *véase* bonobos
ciudades, surgimiento de las primeras, 269-270
Clavera, M. J., 75
clima, deterioro del, 48-49
clonación, técnicas de, 157
comida, transporte de la, 54
comportamiento sexual, genética del, 59-60
control de la natalidad, mecanismos de, 221-222
cópula cara a cara, 85, 201
córtex cerebral, 152
cortisol, hormona del estrés, 225
cráneo, tamaño del, 145-147
durante el parto, 169-174
Creciente Fértil, primeras ciudades en el, 269-270
CRH, hormona, 225
crías, cuidados y desarrollo de las, 99-100, 102
cromosomas, 29
anormalidades de los, 28
cuco, nacimiento de los pollos del, 60

Dama Roja, mujer cromañón, 207
Darwin, Charles, 37
datación de fósiles, métodos de, 42
Dawkins, Richard, 20
«gen egoísta» de, 22, 197
delfín, placenta del, 157
dendogramas, *véase* árboles filogenéticos
dentadura, transformación de la, 45
deseo sexual, 21
desparasitación mutua, 54, 73-74
destete de las crías, 189-191
precoz con la ayuda de las abuelas, 248-250
DHA, *véase* ácido docosahexanóico
diabetes gestacional, 160
dihidrotestosterona, hormona masculina, 29
dimorfismo sexual, 109-112
de los homínidos, 111
diploides, organismos, 119
diseño evolutivo, 14-17
Dmanisi, en Georgia, restos de homínidos en, 136-137
docosahexanoico, ácido graso, 142
dolor, miedo al, 20
Dordoña, yacimiento en, 214
Dorneer, investigador, 235

Egipto, fósiles en, 212
egoísmo genético, 21, 112, 118, 198
embarazo, 155-158
endogamia, estrategias para evitar la, 120-121
energía materna, hipótesis de la, 148-150
enzimas, proteínas, 19
trehalasa, 53
especie humana, características de la, 13-14
esperanza de vida, 251-252, 255
espermatozoides, 23-24, 28-29, 81-82, 85-59
y la pérdida de grasa corporal, 225
espinillas en la piel de los machos, 73-74
esponjas marinas, reproducción de las, 26

esterilidad de la hembra, 225-226
estrellas de mar, reproducción de las, 26
estrés
  prenatal de la madre y su influencia en la homosexualidad masculina, 233-235
  relación de la anorexia y la amenorrea con el, 229
estrógenos, hormonas sexuales femeninas, 30, 64, 116, 240, 248, 253, 254
  elevaciones cíclicas de los niveles de, 257-259
  riesgos del tratamiento con, 260-261
Etiopía, fósiles de homínidos en, 47-49
Europa
  éxodo hacia, 213
  humanos modernos en, 214-215
  última glaciación en, 266
Eva Negra, teoría de la, 209
evolución cultural, 271
evolución de la especie humana, 12, 42-45
  mecanismos de la, 33-36
  tiempo y, 38-40
exogamia, 106
  mecanismos para favorecer la, 122
eyaculación precoz, 96

fecundación, 23-24, 26, 28, 116
fenotipo, 22, 67
fenotipo ahorrador, hipótesis del, 162
feromonas, 74, 112
fertilidad, periodo de (celo), 112-114
  ausencia durante la lactancia, 184-185
  ocultación de, 113-114, 118
fertilización del óvulo, 77
fertilización *in vitro*, 16
feto
  hipocrecimiento prenatal, 158-159
  mecanismo ante la falta de oxígeno, 177
  nutrición del, 158, 161, 165
fidelidad en los homínidos, 203-204
Fisher, Helen, 255
fisiología endocrinológica, 13
fitoestrógenos, moléculas, 261-262
foramen mágnum, 51
fósiles de homínidos, 42, 47-48
  datación de, 42, 50

gametos, células
  femenino (óvulo), 23-24, 28-29, 81
  masculino (espermatozoide), 23-28, 28-29, 81-82
ganadería, inicios de la, 267-268
genes, 19
  altruismo de los, 21-22
  controladores de la duración del embarazo, 156
  dominantes, 119-120
  duplicidad de los, 20, 77
  de la Edad de Piedra, 270
  egoísmo de los, 21, 108, 118
  favorecedores de conductas de protección y de cuidado hacia los jóvenes, 197
  de la hemoglobina, 209
  identificación de la pareja adecuada, 64
  marcados (*imprinted genes*), 151
  recesivos, 120
  relacionados con el retraso mental, 151
  SRY o FDT (factor determinante del testículo), 29
  Xq29, asociado a alguna homosexualidad masculina, 232
genética
  avances de la, 16
  del comportamiento sexual, 59-60
  mecanismo de barrera genética, 27
  mutación, 24-25
  recombinación, 24-25
  variabilidad, 24-26, 106, 108, 119
genitales externos de una mujer, 70-72

genoma humano, 20, 34, 117, 208, 270
identidad con el del chimpancé, 44
genotipo, 22-23, 29, 59
gibones, primates, 102, 108
Gibraltar, estrecho de, 135
glaciación, última: *Homo sapiens* en la, 265-267
glucosa, durante el embarazo, 157, 159-160, 162-163
golondrina ribereña, celos en la, 119
gonadotrofina coriónica (HCG), 116
véase también gonadotropinas
gonadotrofinas, hormonas: LH y FSH, 225-226
gonadotropinas (GnRH), hormonas de la hipófisis, 112, 184
gorilas
comunidades poligínicas en los, 103, 195
línea evolutiva de los, 47
parto en los, 167
Gould, Stephen Jay, 42
grasa androide, 182
gusanos, reproducción de los, 26

hadza, etnia nómada de Tanzania, 250
Haldane, John Burdon Sanderson, biólogo, 199
Hales, C. N.: hipótesis del fenotipo ahorrador, 162
hambruna, inhibición de la reproducción y la, 224-225
hembra
almacenamiento de grasas, 69
y la evolución del cerebro humano, 145
evolución de su cadera, 12
ocultación de la fertilidad, 113-114, 118
papel en el proceso evolutivo, 12-13
proceso de desarrollo de los senos, 35, 72-73
recolectora, 131-132, 134
véase también abuelas; hembras colaboradoras; orgasmo femenino
hembras colaboradoras, 230
hemoglobina, gen de la, 209
hidratos de carbono, 148
como combustible durante el embarazo, 159-160, 162
hipotálamo
activación del, 225-226
núcleos supraópticos del, y la atracción sexual, 62-63
Hombre de Cromañón, 214-215, 271
culto a los muertos, 217
florecimiento de la estética, 215-216
Hombre de Java, 137
Hombre de Pekín, 137
Homo, género, 34, 40, 111, 141-143, 193
Homo antecessor, 43, 137, 180, 210
Homo erectus, 137, 214, 272
Homo ergaster, 43, 101, 191, 210, 214
capacidad craneana del, 127-128, 172, 180
como carnívoro, 129-130
carroñeo en el, 131-132
esperanza de vida de los, 251-252
éxodo desde África del, 135-137
función social de la cópula, 200-201
Homo georgicus, 137
Homo habilis, 43, 55, 126
Homo heidelbergensis, 137
Homo sapiens, 40-41, 101, 115, 143, 209
como especie dominante, 214
parto en el, 176
Homo sapiens neanderthalensis, 43, 214, 272
Homo sapiens sapiens, 41, 43, 117, 137, 209, 214, 246
logros tecnológicos del, 271
origen del, 207-208
parto asistido en el, 176

homosexuales, orientación sexuales de los, 63
homosexualidad masculina
como regulador de la tasa de fecundidad, 231-232
influencia del estrés prenatal de la madre en la, 233-235
hormonas, 19, 21
femeninas, 30
masculinas, 29, 31, 64

imprinting, fenómeno del, 121-122
incesto, 119-122
índice de cintura cadera, 70-71
industrias de transformación de alimentos, 268
infancia, en el género Homo, 193-195
infanticidios entre los primates, 104-106
informática, invención de la, 272
inmunoglobulinas, proteínas, 19, 156-157
insulinoresistencia, fenómeno metabólico, 160-163
isoflavonas, fitoestrógenos, 261-262

Jericó, ciudad de, 270
Johanson, Donald, 50
Judson, Olivia, 108

Kabwe (Zambia), cráneo de, 210
Kenia, fósiles de homínido en, 47
Kennedy, G. E., 190
Klassen, investigador, 233
Klassies River Mouth (África del Sur), yacimiento de, 212
KNM-ER-3834, fósil del largo Turkana, 210
¡kung, población de los, en el Kalahari, 184, 187, 25,

lactancia, 16-17, 182-184
artificial, 17, 186
y el control de la fertilidad, 184-185, 258
véase también destete
LcPUFA, *véase* ácidos grasos poliinsaturados de larga cadena
Le Vay, Simon, investigador, 62-63
Leakey, Richard, 127
leche materna, 185-186
véase también lactancia
Lehrke, R., 151
leones, organización parental en los, 103, 122
leptina, hormona, 224-226
Ley del embudo de la alimentación, 164
lignanos, fitoestrógenos, 261
lipostática, teoría, 224
lítica, industria, 215
llanto de los niños
y la evolución, 186-187
madres maltratadoras y el, 189
respuesta de la madre al, 188
como termorregulador, 187
Lorenz, Konrad, etólogo, 121
Lucas, M., 102
Lucy, esqueleto de una hembra de homínido
cadera de, 50-52
cerebro de, 140-141
dimorfismo sexual de, 111
endogamia en los grupos de, 122

macho, papel en el proceso evolutivo del, 12-13
véase también orgasmo en el macho
maduración sexual, retraso de la, 221-223
Malawi, lago, 142
mamíferos, acumulación de grasas en los, 69
mantis religiosa, apareamiento de la, 21, 82
Mar Rojo, estrecho del, 213
Martin, R. D.: hipótesis de la energía materna, 148-150, 157
Martínez, J., 75
meiosis, proceso de la, 23, 30

melanina en la piel, 15-16
menarquia, retraso de la edad de la, 221-222
menopausia, 14, 30, 240
  evolución de la edad de la, 241, 251-252
  importancia evolutiva de la, 245-246
  manifestaciones colaterales de la, 255-256
  terapia hormonal sustitutiva durante la, 242, 259-260
  valor adaptativo de la, 246-249
  véase también abuelas
menstruación, 14, 30, 115-117
MHC, *véase* antígenos del complejo mayor de histocompatibilidad
mitocondrias, en los espermatozoides, 88-89, 208-209
mitosis, proceso de la, 23, 29
«mono obeso», aparición del, 69
monogamia, 102, 107-109
  entre las aves, 102, 107, 203
morfología humana, y elección de pareja, 67
muerte súbita del bebé, síndrome de, 188-159
mutación genética, 24-25, 36

Neolítico, alimentación en el, 164
neurotransmisores, proteínas, 19, 21, 62, 65
nutrición
  de la embarazada, 163-165
  del feto, 158, 161, 165
  lactancia, 181-184, 219

obesidad ginoide, 71, 182
océano fallido, zona del, 142-143
olor corporal, 121
Omo, cuenca del río, 49, 55, 126
oocitos ováricos, 29-30, 252-253
oogonias, constitución de las, 29, 253
óptimo interglacial, periodo, 210
orangután
  estructura del ADN del, 40
  línea evolutiva del, 47
orgasmo en el macho, 89-91, 96
orgasmo femenino, 13-14, 68, 92-93
  finalidad del, 94-96
orientación sexual, conductas de, 62-63, 65
Orrorin Tugenensis, homínido, 43, 47
osteoporosis, y la menopausia, 256-257, 260
ovarios, actividad cíclica de los, 30
  véase también menstruación
ovulación silenciosa, 112-115
óvulo, 81
  fertilización del, 77, 85
oxitocina, neurotransmisor, 201-202

paleoantropología, 42
Paleolítico, alimentación en el, 164
parentales, organizaciones, 100-102
partenogénesis, 157-158
parto
  en el *Ardipithecus ramidus*, 167-168
  en el género Homo, 174-177
  de Lucy, 168-174
  necesidad de ayuda en la mujer, 172-176
  solitario en los primates, 172-173
  a través de la evolución, 171
Picasso, Pablo, 216
Pilbean, David, 42
placenta humana, 157
  durante el parto, 176
  glucosa para su metabolismo, 159-160
  sistemas de transporte translocasas, 165
Pleistoceno, 125
poligamia, 102
poliginandria (poliginia multimachos), 102, 105-107, 110-111, 120
poliginia, 102-104
Prader-Willi, síndrome de, 152

progestágenos, hormonas sexuales femeninas, 30, 261
progesterona, hormonas sexuales femeninas, 116
prolactina, hormona, 184
promiscuidad entre los chimpancés, 105-106
proteínas, 19, 160, 212
  citocromo c de los monos rhesus, 40
protozoos, reproducción de los, 26
pubertad, 29-30, 222, 253

Qafzeh, enterramientos de la cueva de, 212

radiación ultravioleta, 15
receptividad sexual constante, 13
recombinación genética, 24, 26, 36
relojes moleculares, 39, 40
Reno, P. L., investigador, 111
reproducción asexual, 23, 26
reproducción sexual, 16, 22-24, 59-60
  ventajas e inconvenientes de la, 26-29
Rift, fractura del, 48

Sahara, praderas y animales en el, 267
  pinturas en los riscos del, 267
sal yodada, 165
salmones, fecundación de los, 82
selección artificial, 37, 271
selección natural, 37-38, 59, 67, 69, 80, 108, 121, 129, 190, 270
selvas, reducción de las, 48-50
senescencia, 249
senos femeninos, desarrollo de los, 35, 72-73
Shaw, George Bernard, autor teatral, 150
simetría, como indicador de la calidad genética, 68
Skhul, enterramientos del abrigo de, 212
Skutch, investigador, 230
Suez, istmo de, 135
Sungir (Rusia), enterramiento triple de, 217
supervivencia, instinto de, 20
supresión reproductiva, teoría de, 227-228

Tanganika, lago, 142
tasa de reproducción, reducción de la, 220-221
tecnología, desarrollo de la, 133
Tell Halaf, cultura de, 270
terapia hormonal sustitutiva, en la menopausia, 242, 259-261
testosterona, hormona masculina, 29, 64, 232
Thomhill, R., 68
titíes, monogamia entre los, 108
transexuales, estudios sobre, 63
transportadores, proteínas, 19
Turkana, el joven de, 43, 127
Turkana, lago, 49

vagina, desplazamiento hacia delante de la, 70-72, 85, 114
vagina de los primates, 70-72, 83-84
variabilidad genética, 24-26, 106, 119
vasopresina (ADH), neurotransmisor, 201-202
Victoria, lago, 142
vitamina D, 15-16, 257

Wasser, S. K., 221
White, Tim, director de excavaciones, 48
Würm Principal, periodo glacial, 215

ye'kwana, etnia de Venezuela, 250
yodo, deficiencia de, 165

Zhou, J. N., investigador, 63

ÍNDICE

Notas preliminares 9

Introducción 11
El protagonismo de un hueso 11
Las biografías de Eva 12
Una cuestión de diseño 14

1. La reproducción sexual 19
Somos esclavos de nuestros genes 19
La reproducción sexual 22
La variabilidad genética 24
Las ventajas y los inconvenientes de la reproducción sexual 26
¿Cómo se desarrolla una hembra? 28
Bibliografía 32

2. La evolución de la especie humana 33
Los mecanismos de la evolución 33
La selección natural 37
Tiempo y evolución 38
¿Qué es realmente el ser humano? 40

La evolución de la especie humana 42
Bibliografía 46

3. Lucy 47
Las primeras Evas 47
La desaparición de las selvas 48
La cadera de Lucy 50
Lucy y los suyos 52
Los australopitecinos y otros homínidos 55
Bibliografía 58

4. La elección de compañero 59
La genética del comportamiento sexual 59
Mecanismos cerebrales de la atracción sexual 60
Las rutas del sex appeal 65
Morfología humana y elección de pareja 67
¿Cómo se averigua la calidad genética de un macho? . . 67
El atractivo de las hembras gorditas 69
Los atractivos sexuales delanteros 71
La irresistible espinilla 72
¿Quién elige a quién? 76
Bibliografía 80

5. El deber y el placer 81
La cita a ciegas 81
El coito cara a cara. 82
La competencia espermática 86
El orgasmo en el macho 89
El orgasmo en la hembra 91
¿Para qué sirve el orgasmo femenino? 94
Bibliografía 97

6. Los lazos afectivos 99
La necesidad de agruparse 99
La poliginia 102
La poliginandria 105
La monogamia 107
El dimorfismo sexual y la vinculación parental 109
La ovulación silenciosa 112
La menstruación 115
Los celos 117
El incesto 119
Bibliografía 123

7. La hembra nutricia 125
El comienzo de las glaciaciones 125
Homo ergaster 127
Carnívoros a la fuerza 128
El mito del cazador 131
El éxodo de Homo ergaster 135
Bibliografía 138

8. Cerebro y maternidad 139
El órgano costoso 139
Los ladrillos del cerebro 141
¿Para qué servía un cerebro? 143
Cerebro y maternidad 145
La hipótesis de la energía materna 147
La inteligencia es la de mamá 150
Bibliografía 153

9. Evolución y embarazo 155
El embarazo 155
La maternidad y la vida futura del niño 158
El protagonismo del feto 161

La nutrición de la embarazada 163
Bibliografía 166

10. Las dificultades del parto 167
El parto en Ardipithecus ramidus 167
El parto de Lucy 168
El parto en el género Homo 170
La contribución del propio feto 175
Evolución y asistencia al parto 176
Bibliografía 178

11. La lactancia y los cuidados infantiles 179
Somos como pájaros 179
Tamaño cerebral y grasa del niño 181
La lactancia 182
La lactancia y el control de la fertilidad 184
La leche materna 185
Quien no llora, no mama 186
El destete 189
Bibliografía 192

12. La familia y el amor 193
La infancia 193
La pareja y los cuidados parentales 195
El altruismo genético y la selección parental 197
El amor 200
La fidelidad 203
Bibliografía 205

13. La Dama Roja 207
El origen de los humanos modernos 207
Las puertas de África 210
Los humanos modernos en Europa 214

¿Cómo éramos hace cincuenta mil años? 215
Bibliografía 218

14. El control de la fertilidad 219
La regulación de la natalidad y la evolución 219
Los mecanismos de control de la natalidad 221
El retraso de la maduración sexual 222
La anovulación y la amenorrea 223
¿Es la anorexia un residuo evolutivo? 227
Las tías solteronas 230
Los hermanos y los tíos homosexuales 231
Bibliografía 236

15. La hipótesis de la abuela 239
Los terneros no tienen abuela 239
La transformación de madres en abuelas 240
La hipótesis de la abuela 242
El valor adaptativo de la abuela 246
¿Qué hacía una abuela hace miles de años? 249
La edad de la menopausia y la esperanza de vida . . . 251
El mecanismo íntimo de la menopausia 252
¿Para qué servían los calores? 254
La menopausia no es una enfermedad 256
El peligro de los estrógenos 257
¿Se debe tratar la menopausia? 260
Bibliografía 263

16. Nosotros. 265
La última glaciación 265
La ganadería y la agricultura 267
Las ciudades 269
Los genes de la Edad de Piedra y el futuro 270
Bibliografía 274

Índice alfabético 275

NOTA FINAL

Le recordamos que este libro ha sido prestado gratuitamente para uso exclusivamente educacional bajo condición de ser destruido una vez leído. Si es así, destrúyalo en forma inmediata.

AECOC-2004

José Enrique Campillo Álvarez

(Cáceres, 1948) es doctor en medicina por la Universidad de Granada y catedrático de Fisiología en la Universidad de Extremadura. Su labor investigadora se ha centrado en el estudio de diversos aspectos relacionados con la diabetes, la nutrición humana y el ejercicio físico, de donde han surgido numerosas publicaciones científicas en revistas especializadas, capítulos en libros y libros completos relacionados con su especialidad. Es miembro de varias sociedades científicas españolas y de la European Association for the Study of Diabetes. En 1989 se le concedió el Premio Nacional de Investigación de la Sociedad Española de Diabetes. Su vocación docente ejercida en las aulas se complementa con numerosas conferencias y con la publicación de varias obras de divulgación sobre temas relacionados con la nutrición, la diabetes y la evolución. Es autor de *El mono obeso. La evolución humana y las enfermedades de la opulencia: diabetes, hipertensión, arteriosclerosis* (Crítica, 2004).

La cadera de Eva

Los más modernos descubrimientos científicos sobre el origen y la evolución de la especie humana coinciden con el relato bíblico al señalar que fue un hueso el que tuvo la mayor responsabilidad a la hora de convertirnos en lo que hoy somos. Pero la ciencia y la creencia difieren en dos aspectos fundamentales: el tipo de hueso y el sexo del portador de la pieza. Para la Biblia fue la costilla de Adán; para la ciencia, la cadera de Eva.

En efecto, de nada hubieran servido las prodigiosas contribuciones morfológicas, neuroendocrinas y metabólicas que lograron, a lo largo de millones de años de evolución, desarrollar nuestro gran cerebro si, paralelamente, no hubiera evolucionado una cadera capaz de parir el enorme cráneo que lo contiene.

A lo largo de las páginas de este libro se documenta cómo cientos de miles de hembras, a lo largo de millones de años de evolución, soportaron cambios drásticos en sus organismos para adaptarse con éxito a cada nueva circunstancia ambiental, a cada cambio ecológico, y así impulsaron la evolución de toda la especie humana. Este libro, por lo tanto, condensa las biografías evolutivas de todas esas Evas que nos precedieron.

969431-6
9 788484 326663

CASA DEL LIBRO
A CADERA DE EVA /CAMPILLO, JOS
ENRIQUE
7884843266630008270O 5-09 08C
141100
18,90 Eur
3.145 Pts