

DRAKONTOS

# PEQUEÑOS PASOS

CRECIENDO  
DESDE LA  
PREHISTORIA



José María Bermúdez de Castro  
Elena Bermúdez de Castro

CRÍTICA

# Pequeños pasos

Creciendo desde la Prehistoria

José María Bermúdez de Castro  
Elena Bermúdez de Castro

Ilustraciones de Diego Mallo

**CRÍTICA**  
BARCELONA

Primera edición: septiembre de 2017

*Pequeños pasos. Creciendo desde la Prehistoria*  
José María Bermúdez de Castro y Elena Bermúdez de Castro

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal)

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita reproducir algún fragmento de esta obra.  
Puede contactar con CEDRO a través de la web [www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com) o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47

© José María Bermúdez de Castro y Elena Bermúdez de Castro, 2017

© de ilustraciones, Diego Mallo, 2017

© Editorial Planeta S. A., 2017  
Av. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona (España)  
Crítica es un sello editorial de Editorial Planeta, S. A.

[editorial@ed-critica.es](mailto:editorial@ed-critica.es)  
[www.ed-critica.es](http://www.ed-critica.es)

ISBN: 978-84-17067-19-9  
Depósito legal: B. 15274 - 2017

## Hace miles de años: nacer y crecer

Es también muy obvio que quienes sostenían que los homínidos primitivos tenían períodos de crecimiento y desarrollo similares a los de los humanos modernos han olvidado un aspecto crucial. Esto es, si los humanos más arcaicos crecían y se desarrollaban igual que los humanos modernos, ¿por qué no eran como nosotros en caracteres como el tamaño del cuerpo y del cerebro?

Traducción libre de TIMOTHY BROMAGE  
(1987, p. 268).

**E**l tiempo que transcurre desde que se forma la primera célula embrionaria, el cigoto, hasta que completamos el desarrollo del cuerpo y del cerebro representa nada menos que la cuarta parte de la existencia de un ser humano. En ese período se suceden acontecimientos muy importantes, como el propio nacimiento. El gasto energético que supone alcanzar el pleno desarrollo es impresionante. Es por ello que hemos de dedicar una especial atención a este largo proceso. Su estudio y comprensión es fundamental, porque las modificaciones de todos los seres vivos se producen durante la trayectoria del desarrollo. Los cambios evolutivos que nos han hecho «humanos», en el sentido que todos damos a un término tan ambiguo, se han producido mediante transformaciones en genes que regulan el desarrollo y que han pasado el filtro de la selección natural.

El cuidado y la atención de los más pequeños requiere mucho tiempo, paciencia infinita y un notable gasto de energía. Hemos de conocer y comprender cómo y por qué han sucedido los cambios evolutivos en las especies que nos han precedido para dar un sentido a todo

este sobreesfuerzo. El período embrionario implica un momento psicológico especial y un gasto energético muy importante para las madres, que alcanza su punto álgido cuando llega el momento de la verdad y los bebés ven la luz por primera vez. En este primer capítulo vamos a tratar de manera muy rápida diferentes aspectos del parto y del crecimiento y desarrollo en nuestros ancestros, antes de abordar lo que sabemos de *Homo sapiens*.

### **La locomoción de nuestros ancestros**

La locomoción bípeda fue el rasgo fundamental que nos diferenció del linaje de los chimpancés. La separación entre la línea evolutiva que llegó hasta nosotros y la que condujo hasta estos primates sucedió hace unos siete millones de años. En ese momento, la pelvis de la especie primigenia de la genealogía humana modificó su forma para poder afrontar el reto de mantenernos erguidos. El cambio afectó especialmente a todos los huesos que forman el anillo pélvico. El hueso sacro incrementó su anchura, mientras que el íleon se hizo más bajo y más ancho y se arqueó para aumentar el área de inserción de los glúteos. Mientras que estos músculos impulsan a los simios antropoideos hacia adelante en su locomoción cuadrúpeda, los de los homínidos de la genealogía humana modificaron su función. El glúteo mayor representa el impulsor de la marcha (extensión de la cadera), mientras que el mediano y el menor se tensan cuando levantamos una de las dos piernas para caminar (abducción de la cadera). Es la manera de no caernos cuando solo estamos apoyados en una de las piernas. Los glúteos menor y mediano han cambiado su posición anatómica gracias al arqueamiento del íleon. Siguen siendo los mismos músculos, pero ese cambio les permite realizar una función diferente.

A pesar de que aquellos homínidos del Plioceno se adaptaron a permanecer erguidos y a caminar y correr solo con las extremidades inferiores, conservaron durante miles de años la posibilidad de trepar con enorme facilidad. Ciertos aspectos anatómicos de la forma del isquion y del pubis les permitieron tener una gran facilidad para la fle-



Hace miles de años: nacer y crecer

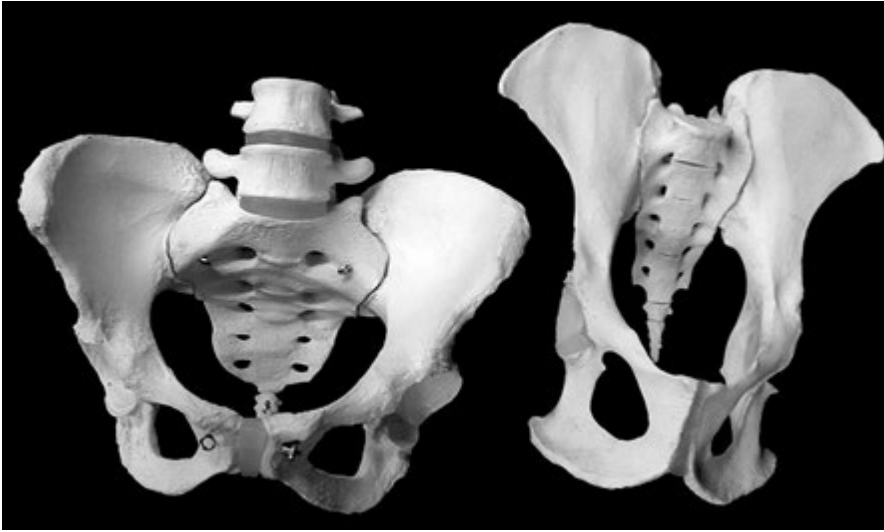


Figura 1. Comparación entre la pelvis de *Homo sapiens* (izquierda) y la de *Pan troglodytes*.

xión de la cadera, en la que participaban potentes músculos isquiotibiales. Estos músculos (semitendinoso, semimembranoso y bíceps femoral) se insertan en la pelvis, en la tibia, el fémur y el peroné. Gracias a la potencia de los músculos isquiotibiales, aquellos primeros «humanos» no dejaron de tener la agilidad suficiente para moverse con fuerza y soltura entre las ramas de los árboles, al mismo tiempo que podían caminar por el suelo. Toda una innovación entre los primates de entonces.

Hace unos tres millones de años el enfriamiento global dejó buena parte del paisaje africano descubierto de árboles. Poco a poco los homínidos nos adaptamos a los nuevos ecosistemas. Tuvimos que caminar y correr por las sabanas de África y hace unos dos millones de años perdimos las adaptaciones que nos permitían trepar con gran agilidad. A cambio, nos fuimos transformando en excelentes corredores bípedos, sobre todo con una enorme capacidad para recorrer largas distancias. Nos acercamos a la costa, fuimos perdiendo el pelaje que nos cubría para soportar las temperaturas más elevadas de las regiones del litoral,

más bajas y cálidas, y, sin darnos cuenta, dejamos atrás las fronteras de lo que hoy en día conocemos como el continente africano. Para realizar esta hazaña nuestro esqueleto terminó por conseguir la plena capacidad que tenemos en la actualidad para caminar y correr con notable eficacia energética. Los cambios más importantes se produjeron en la pelvis, que logró los ajustes necesarios para tener una locomoción exclusivamente bípeda. Al parecer, el parto dejó de ser tan sencillo como en los demás primates. Más adelante veremos si las dificultades para nacer surgieron en el inicio de nuestra genealogía o si se trata de un hecho más reciente. El debate está de actualidad y lo expondremos en las próximas páginas.

En los mamíferos cuadrúpedos la pelvis es alargada y los tres huesos que la conforman, íleon, isquion y pubis, se sitúan en planos aproximadamente paralelos, de manera que el feto sigue una trayectoria rectilínea en su camino hacia el exterior. Si el tamaño del cerebro del recién nacido es relativamente pequeño con respecto al canal del parto, el proceso no presentará problemas obstétricos relevantes. Los chimpancés, por ejemplo, nacen con un tamaño cerebral de unos 180 centímetros cúbicos y su canal pélvico tiene un diámetro sagital muy amplio. En el momento del alumbramiento, los fetos se sitúan con el rostro mirando hacia el vientre de la madre, que los recibirá fácilmente cara a cara, al mismo tiempo que puede sujetar su cabeza por detrás. Nuestra postura bípeda implicó no solo una disminución del tamaño del isquion y el pubis, sino un cambio en la forma del recorrido que ha de seguir el feto durante su viaje desde el útero materno. El canal del parto dejó de tener una trayectoria rectilínea y adoptó otra muy diferente, con un giro muy característico. El parto de *Homo sapiens* se produce en dos fases bien diferenciadas.

## Asomarse a la vida

El primer escollo está formado por el anillo óseo que forman el borde inferior del íleon, el borde superior del cuerpo del pubis y el hueso sacro. Este anillo se denomina «estrecho superior» y su forma ha



*Hace miles de años: nacer y crecer*

cambiado totalmente respecto a la de otros vertebrados. En estos últimos, el estrecho superior tiene forma alargada en sentido anteroposterior, es decir, de delante atrás, mientras que en *Homo sapiens* la mayor anchura es transversal, de un lado a otro. En los chimpancés, la cabeza del recién nacido es notablemente más pequeña que el diámetro del canal de parto y durante el alumbramiento se sitúa con la cara mirando hacia su madre. Este hecho es muy importante, porque la madre podrá limpiar a su cría recién nacida con gran facilidad. Las madres chimpancés prefieren la soledad de la noche para dar a luz. Se bastan por sí mismas. Nosotros hemos perdido esa ventaja.

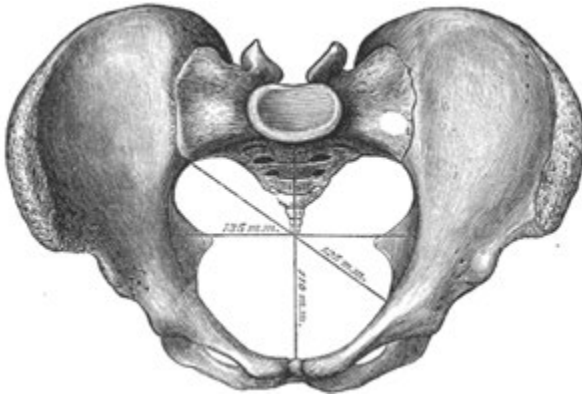


FIGURA 2. Estradio superior de la pelvis humana. Fuente: Wikipedia.

En nuestra especie existe lo que se denomina desproporción cefalopélvica. La cabeza del recién nacido es muy grande con respecto al canal del parto. Alcanzamos volúmenes cerebrales cercanos a los 400 cc., prácticamente el tamaño del cerebro de los chimpancés adultos. En esas circunstancias, la cabeza tiene que situarse de manera transversal para adaptarse a la forma del estrecho superior. De manera coloquial, podemos decir que tenemos que ponernos de perfil para comenzar a viajar a través del canal pélvico. El segundo escollo que debemos de superar en ese viaje es la presencia de las espinas ciáticas (o isquiáticas) del isquion, que a mitad del camino producen el estrechamiento del canal



del parto. Las espinas ciáticas dan soporte y origen a los músculos géminos superior e inferior y se insertan en el trocánter mayor del fémur. Su contracción permite estabilizar la articulación coxofemoral y son, por ello, músculos relacionados con la bipedestación. Vemos de nuevo que nuestra adaptación a la postura erguida parece estar en contraposición al proceso fisiológico del parto.

A continuación, el feto se encuentra con la necesidad de girar primero la cabeza y luego el resto del cuerpo para afrontar la salida de la pelvis a través del estrecho inferior, compuesta por el anillo óseo que forman las tuberosidades isquiáticas (los abultamientos óseos del isquion), la sínfisis púbica (la articulación cartilaginosa entre los dos huesos púbicos) y el cóccix (la parte inferior del hueso sacro). La rotación de la cabeza, sin embargo, no termina en la misma posición que en los chimpancés, con la cara mirando hacia la madre, sino al revés, presentando el occipital y con la cara boca abajo. Si esta interviniera en ese momento las consecuencias podrían ser fatales para su hijo, al no controlar el esfuerzo que habría de realizar sobre su columna vertebral. Además, la madre no puede limpiar las fosas nasales y la boca de su hijo recién nacido para que pueda tomar por primera vez el oxígeno del exterior. Es por ello que el parto tiene que ser asistido por la comadrona o por personas habituadas a estos menesteres. En definitiva,

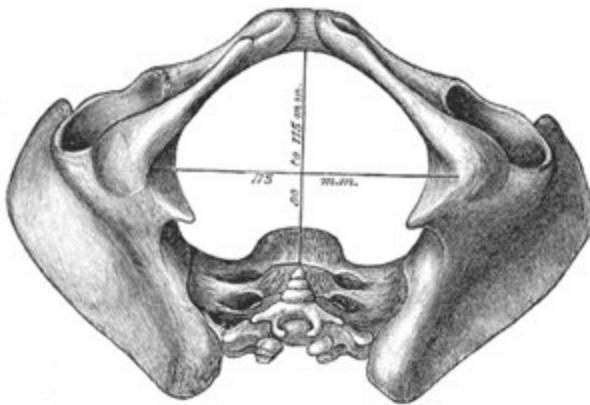


Figura 3. Estradio inferior de la pelvis humana. Fuente: Wikipedia.



## Hace miles de años: nacer y crecer

nuestro parto se ha transformado en un acto social, frente a la soledad del parto en otros primates.

Si el parto se desarrolla con normalidad y sin mayores complicaciones, aún nos queda el último escollo, tal vez el más delicado y el que suele provocar los problemas más habituales en *Homo sapiens*. Se trata del paso del resto del cuerpo por el estrecho inferior, que puede provocar la llamada «distocia de hombros», una disfunción habitual en los partos difíciles que suele acabar con la rotura de las clavículas del bebé. En la actualidad, y para evitar mayores problemas, se suele practicar una episiotomía, es decir, un corte en el periné, para ampliar de manera artificial el espacio para el paso final de la cabeza y los hombros del recién nacido. Esta pequeña intervención quirúrgica no es peligrosa en hospitales bien equipados y evita roturas de clavículas o, en el peor de los casos, la muerte por asfixia del bebé que, debido al retraso en el proceso del parto, está sufriendo una fuerte compresión del cordón umbilical. Las madres más afortunadas tienen un canal pélvico suficientemente ancho para que el parto se desarrolle con gran rapidez. Pero no es lo más común.

### El parto de nuestros antepasados

¿Qué sucedía en el pasado?, ¿qué sabemos del parto en los australopitecos o de los miembros más antiguos del género *Homo*?, ¿cómo daban a luz los neandertales?, ¿era más sencillo que en la actualidad? La lógica nos induce a pensar que el parto pudo ser mucho menos complicado en todas las especies de la genealogía humana, desde los ardirpitecos (género *Ardipithecus*) hasta los neandertales, pasando por los australopitecos o los miembros de la especie *Homo erectus*. Todos estos homínidos, excepto los neandertales, tuvieron un cerebro más pequeño que el nuestro. No es complicado averiguar el tamaño de la cabeza de los recién nacidos en las especies del pasado, puesto que existe una relación bien conocida entre el volumen del cerebro de los neonatos y el de los adultos. En 2008 los investigadores Jeremy DeSilva y Julie Lesnik publicaron sus estimaciones empleando datos de nu-





*Hace miles de años: nacer y crecer*

merasas especies de primates catarrinos,<sup>5</sup> el grupo entre los que nos encontramos nosotros. Estos científicos consiguieron construir una recta de regresión, que relacionaba el tamaño del cerebro del adulto y el de los recién nacidos. Nuestra especie se integraba perfectamente con todos los demás miembros de ese grupo de primates, demostrando una vez más que no tenemos nada de especial. La recta de regresión se obtiene ajustando los puntos obtenidos para cada especie mediante la fórmula siguiente:

$$\text{Log (masa del cerebro del neonato)} = 0,7246 \times \text{Log (masa del cerebro del adulto)} + 0,3146$$

Con esta fórmula, el tamaño del cerebro de los recién nacidos de cualquier especie es sencillo de obtener, una vez conocido el tamaño del cerebro de los adultos.

El 95 % de confianza para la pendiente de la recta se encuentra entre los valores 0,7161-0,7356, mientras que el 95 % de confianza de la intersección de la recta con el eje Y es de 0,2869-0,3409.

Por ejemplo, podríamos estimar que el cerebro de los recién nacidos de la especie *Homo habilis* estaría en un rango de entre 197 y 257 cc., considerando que el promedio del tamaño del cerebro de los adultos es de unos 650 cc.

Tras este cálculo, solo nos faltaría conseguir buenos datos sobre las pelvis de esas especies. Así podríamos obtener conclusiones tanto sobre las dificultades como sobre la modalidad del parto.

Expertos como Juan Luis Arsuaga, Robert Franciscus, Karen Rosemberg o Timothy Weaver han discutido en sus investigaciones sobre la posibilidad de que las especies anteriores a la nuestra hayan tenido o no un parto con rotación. El canal del parto de esas espe-

5. Los catarrinos, o simios del Viejo Mundo, son un grupo de primates del infraorden Simiiformes, cuya principal característica es tener los orificios nasales abiertos hacia abajo y separados por un delgado tabique. Los platirrininos o monos del Nuevo Mundo se diferencian de los catarrinos por tener hocicos achatados y narices en posición lateral.

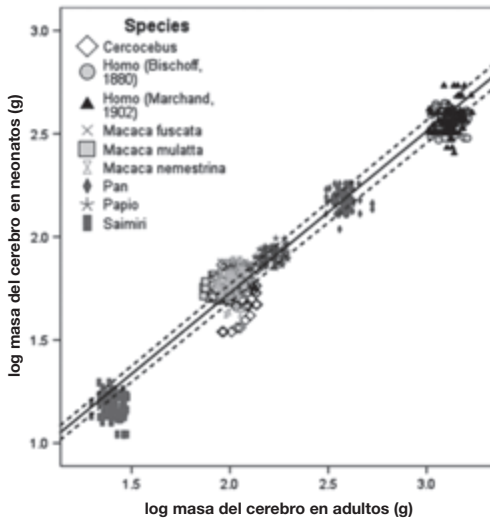


FIGURA 4. La figura nos muestra la relación entre masa en gramos del cerebro de los adultos y la masa del cerebro de recién nacidos de ocho especies de primates (escala logarítmica). Para estas especies la variable masa de cerebro de los adultos es capaz de predecir la masa del cerebro de los neonatos. El índice correlación es muy elevado:  $r^2=0,97$ . El método empleado en este trabajo fue el de la regresión geométrica media, al considerar que los valores obtenidos en cada individuo de la muestra están sujetos a un cierto error. Las líneas discontinuas representan el 95 % de confianza de los resultados obtenidos para la pendiente de la línea de regresión obtenida en el estudio. Como puede verse en la figura, los seres humanos estamos en la misma trayectoria que especies como los macacos o los papiones. Fuente: DeSilva y Lesnik, 2008, JHE, *Journal of Human Evolution*, n° 55, pp. 1064-1.074

cies pudo ser rectilíneo, como sucede en los mamíferos cuadrúpedos, o experimentar un giro entre la entrada (estrecho superior) y la salida (estrecho inferior) del canal pélvico, como sucede en *Homo sapiens*.

El registro fósil no ayuda precisamente a llegar a un consenso en este tema tan interesante. Las únicas pelvis de australopitecinos, Sts 14 y Sts 65, de *Australopithecus africanus*, y A.L. 288-1, de *Australopithecus afarensis*, están incompletas, pero tienen la ventaja de que con bastante probabilidad pertenecieron a individuos femeninos. A estos especímenes hemos de sumar la pelvis de Gona (Etiopía), con



*Hace miles de años: nacer y crecer*

aproximadamente 1,2 millones de años de antigüedad y asignada a *Homo ergaster*, la Pelvis 1 de la Sima de los Huesos de Atapuerca, de unos 430.000 años, la pelvis incompleta china de Jinniushan, asignada a *Homo erectus* y datada de finales del Pleistoceno Medio,<sup>6</sup> y las pelvis más o menos bien conservadas de *Homo neanderthalensis*, como la de Kebara y la de Tabun C1, obtenidas en yacimientos del actual estado de Israel. Con este registro tan pobre y considerando que alguno de estos ejemplares es claramente masculino, como la Pelvis 1 de Atapuerca, no es de extrañar que exista un encendido debate entre los especialistas.

¿Cómo saber si una pelvis fósil perteneció a uno u otro sexo? Asumiendo que las diferencias entre machos y hembras eran similares a las que observamos hoy en día entre hombres y mujeres la solución es relativamente sencilla. La forma de los tres huesos que forman la pelvis y el canal del parto muestran notables diferencias entre los dos sexos. Por ejemplo, en las mujeres la pelvis es más ancha y el ángulo entre los huesos púbicos más abierto. Como bien podemos suponer, las diferencias tienen que ver con la maternidad y parecen haberse mantenido a lo largo de millones de años en todas las especies de homínidos. La probabilidad de acertar en el sexo de la pelvis de *Homo sapiens* es superior al 90 %.

En 2009, Timothy Weaver y Jean-Jacques Hublin realizaron una reconstrucción digital de la pelvis neandertal de Tabun C1, mediante la recreación por imagen especular de las partes perdidas. Estos autores lograron obtener así la forma de los estrechos superior e inferior de esta pelvis. La tecnología ha permitido este pequeño «milagro científico», impensable hace tan solo una decena de años. De manera sorprendente, la forma del canal del parto obtenida en esta reconstrucción virtual es diferente a la de nuestra especie. Weaver y Hublin abrieron de este modo un debate sobre la posibilidad de que tanto los neandertales como las demás especies de homínidos no tuvieran la necesidad de un parto con rotación de la cabeza del feto. Pero no todos los expertos están de acuerdo con esta conclusión.

6. Período geológico que comprende entre 780.000 y 120.000 años atrás.

La última investigación sobre este asunto ha sido publicada en 2016 por un equipo de la Universidad de Boston (Estados Unidos) liderado por Alexander G. Claxton. Los autores implicados en este trabajo también han conseguido reconstruir de manera virtual el ejemplar Sts 65, asignada a un *Australopithecus africanus*. El tamaño de la pelvis en los pequeños australopitecos era mucho menor que en *Homo sapiens*, pero ¿qué sabemos de sus proporciones? La morfología de Sts 65, que conserva parte del íleon y el pubis, sugiere que perteneció a una hembra. En términos relativos, la pelvis de Sts 65 era algo más ancha que la nuestra debido a la expansión lateral del hueso ilíaco. Pero cuando los investigadores midieron las dimensiones del canal del parto no apreciaron ninguna desproporción significativa con respecto a las de *Homo sapiens*. La cabeza de los recién nacidos de las especies del género *Australopithecus*, que tendría un promedio de unos 180 cc., era obviamente mucho más pequeña que la de nuestros hijos (unos 380 cc.). Pero las dimensiones del canal del parto de los australopitecos también eran más pequeñas. De manera sorprendente, Claxton y sus colaboradores llegaron a la conclusión de que el parto de los australopitecos pudo ser tan complicado como en la actualidad. Parece una contradicción a la lógica. Siempre hemos imaginado que las crías de nuestros antepasados más remotos nacían con la misma facilidad que otros vertebrados. Si Claxton y su equipo tienen razón, la postura erguida habría sido desde siempre un problema para dar a luz. En todas las especies anteriores a la nuestra, la cabeza del feto pudo orientarse de manera transversal, con la consiguiente rotación a medida que se movía por el canal del parto. Y si Weaver y Hublin acertaron con sus hipótesis es posible que los neandertales fueran una excepción a esta regla. Considerando las contradicciones entre los dos trabajos, nos quedaremos a la expectativa de los resultados de futuras investigaciones. Para ello es necesario que los paleontólogos encuentren más pelvis fósiles y, a ser posible, de hembras de diferentes especies humanas. Si los nuevos hallazgos apoyan la hipótesis de Claxton y su equipo, tendremos que explicar cómo hemos llegado hasta el presente a pesar de las dificultades para el parto sin el apoyo de la tecnología.



Hace miles de años: nacer y crecer

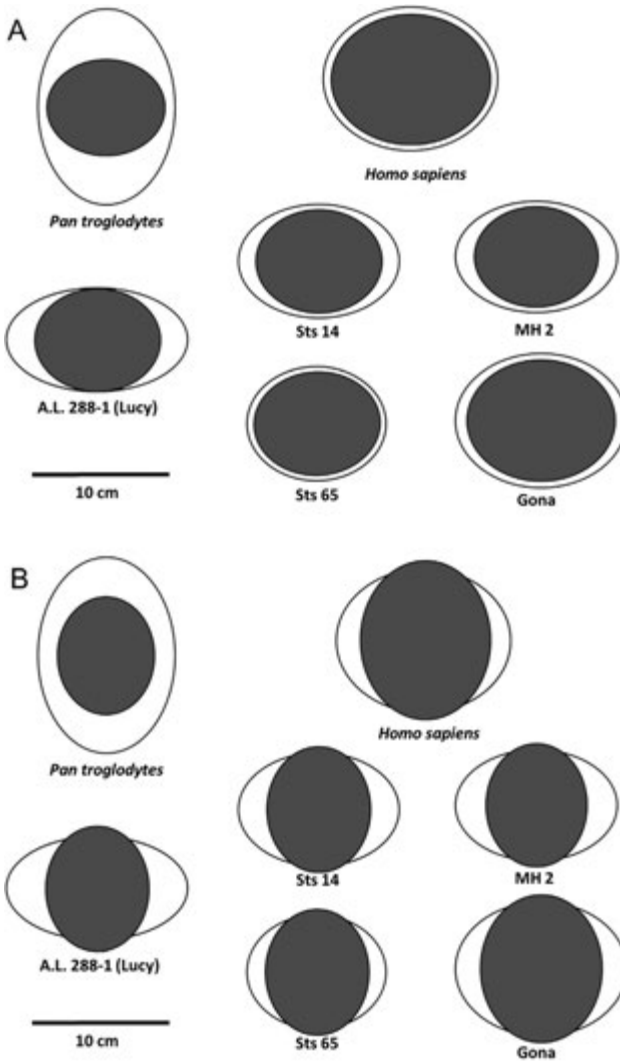


FIGURA 5. Esquema de la comparación hipotética entre las dimensiones del canal del parto y de la cabeza del recién nacido en chimpancés (*Pan troglodytes*) y diferentes homínidos: A.L. 288 (*Australopithecus afarensis*), Sts14, Sts 65 (*Australopithecus africanus*), MH 2 (*Australopithecus sediba*), Gona (*Homo erectus* de Etiopía). En la parte superior (A), el parto sería ajustado, pero relativamente sencillo; es posible que sin rotación. En la parte inferior (B), la hipótesis contempla un parto complejo en todas estas especies, bastante probable con rotación, como sucede en *Homo sapiens*. Fuente: Claxton *et al.*, 2016, *Journal of Human Evolution*, n.º 99, pp. 10-24.



Como curiosidad, las investigaciones de estos científicos han derivado en otro asunto interesante. Los expertos en el estudio del tamaño corporal siempre han hipotetizado que el aumento del tamaño del cuerpo pudo estar relacionado con el estilo de vida de los cazadores recolectores, enfrentados a mil peligros. La selección natural habría favorecido a los individuos más altos y corpulentos. Pero para Claxton y sus colaboradores, el mayor volumen corporal pudo ser simplemente una consecuencia secundaria del aumento del volumen del cerebro. Cuanto mayor era el tamaño del cerebro de los recién nacidos, mayor tendría que ser el canal del parto. La selección natural habría favorecido a los individuos con cerebros cada vez más grandes y más complejos que, con bastante probabilidad, habrían sido los más capacitados para sobrevivir y dejar sus genes a la siguiente generación. Como consecuencia, el resto del cuerpo, incluyendo la pelvis, habría seguido las directrices impuestas por este aspecto tan sumamente importante de nuestra historia evolutiva.

## **El crecimiento y desarrollo de los mamíferos**

Desde el momento de la concepción de un nuevo ser vivo el reloj se pone en marcha. Los genes reguladores y selectores<sup>7</sup> se expresarán en cascada, siguiendo las pautas propias de cada especie hasta que ese ser alcance el estado adulto. Nos preocupa, y con razón, todo cuanto suceda con nuestros hijos desde el momento de la gestación. Una vez superado el primer trauma de nuestra vida comienza una nueva carrera de obstáculos. El crecimiento y el desarrollo de los más pequeños serán objeto de máxima atención por nuestra parte. De todo ello ha-

7. Los genes reguladores se encargan de controlar la velocidad de síntesis de los productos de uno o de varios genes o rutas biosintéticas. Los genes selectores también regulan la secuencia de los procesos de diferenciación embrionaria en el tiempo y en el espacio a lo largo de los ejes del cuerpo, modelando el lugar donde se formarán tejidos y órganos. Los dos tipos de genes son fundamentales en el desarrollo correcto de un individuo.



blaremos en el siguiente capítulo del libro. Pero antes de nada hemos de tratar de modo muy general lo que sabemos acerca del crecimiento y el desarrollo de los mamíferos.

Los mamíferos nos diferenciamos de otros vertebrados en varios aspectos, algunos no demasiado obvios. Por ejemplo, estamos muy condicionados por nuestras características relacionadas con el crecimiento, la locomoción y la reproducción. Así, mientras que los peces, anfibios y reptiles pueden crecer durante toda su vida, aun después de que hayan alcanzado su madurez sexual, los mamíferos tenemos un tope de crecimiento. En peces, anfibios y reptiles los huesos no solo aumentan en longitud, sino que el tejido óseo se va depositando a partir de la capa de periostio, una membrana que recubre el hueso. Estos vertebrados no se preocupan de sus crías y pueden conseguir suficiente energía del medio como para dedicarla a su propio crecimiento. En regiones tropicales no es raro encontrar especies de anfibios y reptiles de gran tamaño. Esto mismo sucedió con las diferentes genealogías de dinosaurios. Su gran tamaño también fue su perdición. Los mamíferos, en cambio, hemos desarrollado un crecimiento óseo diferente. Poco después de iniciarse la reproducción, el cartílago localizado en las epífisis o extremos de los huesos largos, que determinan el tamaño de la especie, deja de ser operativo. Llegado ese momento los extremos de los huesos largos se fusionan de manera definitiva a las diáfisis o partes medias correspondientes. El coste energético dedicado al crecimiento es más o menos elevado dependiendo de su duración. Pero una vez que este termina dedicaremos energía a otros aspectos. En ciertas especies de mamíferos, como las ratas, el crecimiento del hueso es continuo hasta su muerte. Pero estas excepciones se justifican por el hecho de que estos animales tienen una longevidad muy corta.

Los mamíferos tenemos ciertas ventajas que nos permitieron sobrevivir a la masiva extinción de los reptiles del Mesozoico. Aunque existen datos convincentes sobre la posible homeotermia de algunos grupos de dinosaurios, la capacidad biológica de aquellos animales para mantener su sangre caliente de manera constante e independiente a la temperatura ambiental sigue siendo una hipótesis. En cambio, es un hecho que los mamíferos somos capaces de regular la tem-

peratura corporal, aunque con un gran esfuerzo fisiológico y un elevado coste energético. Además, dedicamos una enorme cantidad de energía a la reproducción. Alimentamos los embriones dentro de nuestro cuerpo mediante diferentes tipos de placenta durante los meses que dura la gestación, seguimos alimentando a las crías mediante el proceso de lactancia, y dedicamos un cierto tiempo a proteger a las crías hasta que se valen por sí mismas. Todo ello conlleva un enorme gasto energético que se traduce en una tasa metabólica celular más elevada que la de otros vertebrados (ver capítulo 6).

Por último, los mamíferos terrestres dedicamos mucha energía a la locomoción. En general, somos rápidos y flexibles, lo que implica también que el sistema muscular tenga un elevado coste en kilocalorías. Además, nuestros huesos experimentan una remodelación continua a lo largo de la vida, que es especialmente intensa durante el desarrollo. Aunque el crecimiento tiene un techo, el tejido óseo sigue activo. Este proceso también es costoso y permite la adaptación de cada hueso del esqueleto a sus funciones particulares. En definitiva, hemos conseguido notables ventajas adaptativas para el entorno en el que nos encontramos en la actualidad a costa de una factura energética enorme. Todo ello va en detrimento del crecimiento continuo. Este es el precio, que pagamos en cómodos plazos, aunque los lectores seguramente estarán de acuerdo en que nuestra evolución como mamíferos ha merecido la pena.

Así pues, el hecho de ser vivíparos condiciona el gasto energético de los adultos para su propio crecimiento y determina, además, el tiempo que puede durar la gestación. Durante ese período, el embrión está perfectamente protegido y alimentado. Su estancia en el útero está condicionada al tamaño que pueda alcanzar el cerebro. Tras el parto llega un período de lactancia, más o menos prolongado según las especies, que mantiene los estrechos lazos entre la madre y sus crías. Esta etapa de dependencia es lo que conocemos como infancia, una fase del desarrollo fundamental para las crías, pues aprenderán de sus madres a valerse por sí mismas cuando llegue el momento del destete. La curva de crecimiento de los mamíferos durante la infancia puede describirse mediante la correspondiente ecuación matemática.



## *Hace miles de años: nacer y crecer*

Una vez destetados, los mamíferos continúan creciendo hasta que se produce su madurez sexual y el inicio de la reproducción. Este período juvenil suele ser bastante corto y la curva de crecimiento puede definirse prácticamente por la misma ecuación matemática del período infantil. Finalmente, el crecimiento se ralentiza poco a poco hasta alcanzar el tamaño definitivo del adulto. Algunos mamíferos, como las ratas, han adaptado su desarrollo hacia un crecimiento precoz, en el que la dependencia de los progenitores es muy corta. La capacidad reproductora se alcanza con gran rapidez, mucho antes de que se logre el tamaño final del cerebro y del cuerpo, que sigue creciendo con lentitud hasta la muerte de los individuos. Este modelo no es común. El crecimiento de los mamíferos, y en particular el de las especies más sociales, se caracteriza por su altricialidad, un término utilizado para explicar que las crías nacen con cierta indefensión y poco desarrollo neuromotor como ya explicamos en el prólogo del libro. Mientras que en muchos mamíferos las crías apoyan muy pronto las cuatro patas en el suelo para caminar, los chimpancés tardan hasta cuatro meses en moverse por sí mismos. Nosotros comenzamos a dar nuestros primeros pasos hacia los doce meses. Los progenitores de todas las especies altriciales invierten una importante cantidad de energía en proteger a las crías hasta que estas se valen por sí mismas. La mayor parte del crecimiento y desarrollo del cerebro y del resto del organismo precede al momento en que alcanzan el período adulto y la capacidad para la reproducción.

Los seres humanos hemos llegado a cotas muy elevadas de altricialidad. A diferencia de otros mamíferos, la mayoría de los primates alcanza el 90% del crecimiento del cerebro antes de llegar a la madurez sexual. Este hecho es muy evidente en los simios antropoideos y en nuestra especie. En los chimpancés, el tamaño final del cerebro se logra hacia los cinco años, mientras que la reproducción aún tardará otro cinco o seis. En nuestra especie sucede algo similar, pero de manera más acentuada. El cerebro completa su crecimiento hacia los siete años, pero la plena reproducción no suele suceder hasta el final de la adolescencia. Además, el período juvenil es muy evidente en los primates, particularmente en los monos del Viejo Mundo y en los simios antropoideos. Este hecho puede demostrarse no solo por el largo

tiempo que transcurre entre el destete y la madurez sexual, sino por la demostración empírica de que son necesarias dos ecuaciones matemáticas distintas para definir la curva de velocidad de crecimiento de estos mamíferos. La primera parte del crecimiento casi es lineal, mientras que la fase juvenil sigue una trayectoria curvilínea. ¿Qué sucede en *Homo sapiens*?, ¿cómo crecemos? Volvemos a insistir en que nuestro modo de crecimiento y desarrollo es único entre los primates vivos. A ese proceso hemos llegado tras un largo período evolutivo de unos dos millones de años, desde que surge en África el género *Homo*. Averiguar cuándo, cómo y por qué hemos adquirido las características exclusivas de *Homo sapiens* son asignaturas pendientes de la paleoantropología. La tarea no es sencilla, porque el registro fósil es muy «ta-caño» en restos de individuos infantiles y juveniles. Veamos pues, de manera somera, lo que sabemos sobre el crecimiento y el desarrollo en los homínidos del Plioceno y del Pleistoceno o, de manera más coloquial y sintética, del Plio-Pleistoceno.

### ¿Cómo se desarrollaban los homínidos del Plio-Pleistoceno?

A mediados del siglo xx el registro fósil era muy escaso y pocos expertos se planteaban las características biológicas de las especies que se estaban incorporando al árbol evolutivo de la humanidad. El hallazgo de numerosos fósiles de la especie *Australopithecus afarensis* en los yacimientos de Hadar (Etiopía) y Laetoli (Tanzania) durante la década de 1970 fue uno de los acicates que propiciaron el estudio de la paleobiología de las especies que nos precedieron. Esos hallazgos se sumaron a los realizados en Sudáfrica de las especies *Australopithecus africanus* y *Paranthropus robustus*, así como en otros lugares del este de África, correspondientes a las especies *Paranthropus boisei* y *Homo habilis*. También se habían recuperado un buen número de fósiles del Pleistoceno Medio y del Pleistoceno Superior en África y Eurasia, que se asignaban a las especies *Homo erectus* y *Homo neanderthalensis* y a formas primitivas de *Homo sapiens*. El registro fósil de los homínidos empezaba a ser abundante y los expertos no se conformaban solo con



realizar detallados trabajos descriptivos. El comportamiento, la dieta, la biomecánica y otros muchos aspectos de estos humanos arcaicos empezaron a ser objeto de numerosas investigaciones y de sus publicaciones correspondientes.

Una de las líneas de trabajo se preocupaba del crecimiento y desarrollo de estas especies. El tema resultaba muy complejo, porque casi todos los ejemplares recuperados eran adultos. Para llegar a conclusiones satisfactorias sobre el desarrollo de cualquiera de las especies del Plio-Pleistoceno hubiera sido deseable disponer de docenas de individuos con esqueletos muy completos y de todas las edades. Así hubiera sido posible determinar la curva de crecimiento, la velocidad de formación del cuerpo y del cerebro o cualquier otro parámetro del desarrollo que nos hubiera parecido relevante. Pero, como bien podemos imaginar, los esqueletos de los individuos inmaduros se conservan peor que los de los adultos.

El científico Alan Mann, de la Universidad de Pensilvania, exploró esta línea de investigación utilizando radiografías convencionales del maxilar y la mandíbula de algunos fósiles de individuos inmaduros. Se trataba de estudiar el desarrollo dental, que está ligado al desarrollo general del organismo. La idea básica consistía en comparar la evolución de las dentaduras de los fósiles con la de los humanos actuales y la de los simios antropoideos. Entre ellos y nosotros existen ciertas diferencias, como la disparidad entre la formación y erupción del primer molar y los incisivos. En *Homo sapiens*, los incisivos permanentes aparecen fuera de las encías aproximadamente un año después que el primer molar, mientras que en los simios antropoideos lo hacen hasta tres años más tarde. Además, nuestros molares distancian el comienzo de su formación y su erupción, que sucede a los seis años para el primer molar, doce años para el segundo molar y dieciocho años para el tercer molar o muela del juicio. En los simios antropoideos las respectivas erupciones tienen lugar a los tres, seis y once años. Este hecho está relacionado con una mayor duración del período total del desarrollo en los seres humanos.

Alan Mann tuvo acceso a radiografías convencionales, que han sido extremadamente útiles en el estudio de nuestras patologías. Los

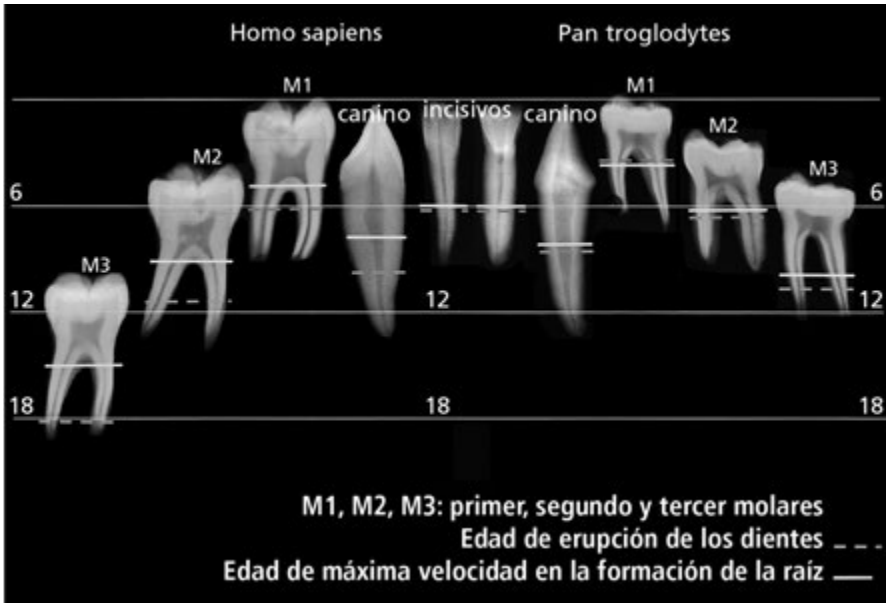


FIGURA 6. La figura muestra las diferencias en el desarrollo de cada uno de los dientes en *Homo sapiens* y *Pan troglodytes*. Ese desarrollo tiene momentos clave: 1. Inicio de la formación de la corona; 2. Momento final de la formación de la corona; 3. Inicio de la formación de la raíz; 4. Momento en el que la velocidad de formación de la raíz es más rápido (línea continua); 5. Momento en el que los dientes rompen la encía y despuntan en la cavidad bucal (línea discontinua); 6. Final del proceso de formación de la raíz. Podemos notar las diferencias entre las dos especies para cada uno de esos momentos clave, que tienen una elevada correlación con otros aspectos del desarrollo somático de las dos especies. Además, *H. sapiens* y *P. troglodytes* tienen su patrón específico, que es distinto al de otras especies de primates. Por descontado, esos momentos clave poseen una cierta variabilidad que, en parte, depende de factores ambientales. El tamaño y la forma de los dientes no están a escala real. Fuente: modificado de una publicación de Chris Dean y Tim Cole (2013). PLOS ONE 8 (1): e54534.

restos fosilizados no permiten obtener imágenes tan nítidas como las que nos toman hoy en día en cualquier hospital. Para atravesar el hueso de un fósil de tres millones de años hace falta incrementar el voltaje y el tiempo de exposición. Aun así, las imágenes no siempre permiten una estimación precisa de los dientes en formación. Pero Alan



Mann no se amilanó con estas dificultades y siguió adelante con su trabajo. Finalmente llegó a la conclusión de que el patrón de desarrollo dental de los australopitecos era similar al de nuestra especie y diferente, por tanto, al de los simios antropoideos. Esa fue la principal conclusión de su tesis doctoral, defendida en 1975. En apariencia, supuso un gran avance en el conocimiento de la biología de nuestros ancestros más remotos, que dio pie, entre otros aspectos, a poner adornos a la teoría sobre el origen de la postura erguida y la locomoción bípeda, defendida por el reputado paleoantropólogo Owen Lovejoy. Este autor suponía que los australopitecos eran monógamos y los grupos estaban formados por familias nucleares. La liberación de las manos permitía a los machos llevar provisiones a las madres y sus crías. La infancia sería tan prolongada como la de nuestra especie y las madres apenas tendrían ocasión de conseguir alimentos, ocupadas las veinticuatro horas del día del cuidado de sus hijos. Si se nos permite el atrevimiento, pensamos que Lovejoy propuso su hipótesis tomando como modelo las sociedades modernas de países desarrollados.

Si bien los hallazgos de *Australopithecus afarensis* demostraron que la locomoción bípeda se remontaba como mínimo a cerca de cuatro millones de años, no quedaba nada claro que su vida fuera similar a la de un habitante del siglo xx de una ciudad como Nueva York. El aspecto de estos homínidos, o el de cualquier otra especie contemporánea, era mucho más parecido al de un chimpancé que al de un humano actual. Aunque perfectamente erguidos, el cerebro de los australopitecos no era más grande que el de un bonobo. Su estatura apenas superaba los 100 centímetros y su esqueleto facial recordaba también al de los chimpancés. Los caninos eran pequeños, pero aún persistían en el maxilar y en las mandíbulas los espacios necesarios (diastemas) para alojar estos dientes cuando mantenían la boca cerrada. En definitiva, resultaba extraño pensar en que la biología de los australopitecos o la de los parántropos (género *Paranthropus*) fuera similar a la de los humanos modernos. La hipótesis de Alan Mann no satisfacía a otros colegas, como George A. Sacher o a los propios Timothy Bromage y Chris Dean. Estos dos últimos científicos se propusieron reconsiderar los datos de Alan Mann e investigar por su cuenta. El patrón de desa-



rollo dental podía ser similar en los australopitecos y en los miembros de nuestra especie. Pero ¿y la velocidad de formación de los dientes? Aunque durante las décadas de 1980 y 1990 se llegó a demostrar que los datos de Alan Mann eran incorrectos, Bromage y Dean se adelantaron con sus investigaciones sobre el tiempo de formación de los dientes. Para ello, ambos retomaron una línea de investigación de muchos años de tradición en el Reino Unido. Así como los huesos sufren procesos de remodelación durante toda la vida, cambiando continuamente el aspecto microscópico de la superficie ósea, los dientes guardan memoria de su formación en forma de estrías y líneas de crecimiento, en un proceso similar al que sucede con los anillos de crecimiento de los árboles.

La explicación detallada de la formación de los dientes es muy compleja, por lo que remitimos a los lectores que se interesen por esta cuestión a textos especializados.<sup>8</sup> No obstante, es imprescindible explicar algunos aspectos relacionados con el desarrollo de los dientes que permitirán una mejor comprensión del tema tratado en este capítulo. Ciertas células, denominadas ameloblastos, son las responsables de formar la corona de esmalte que envuelve la dentina. Estas células van realizando su trabajo durante cierto tiempo, dejando antes de su desaparición un diminuto gránulo de esmalte observable solo mediante la conveniente resolución microscópica. Aproximadamente cada 24 horas, un ameloblasto realiza su función y desaparece. Todas estas mínimas porciones de esmalte forman largas cadenas desde la dentina hasta la superficie de la corona, donde queda perfectamente reflejado el crecimiento circadiano<sup>9</sup> del esmalte. Lo interesante de este proceso es que la capa de esmalte permanece inalterada hasta que el diente se desgasta durante su uso prolongado. En el esmalte no se produce ningún tipo de remodelación, como sucede en los huesos, y cada muesca

8. En particular, recomendamos el libro de José María Bermúdez de Castro titulado *El chico de la Gran Dolina*, publicado en 2002 por la editorial Crítica.

9. Se denomina circadiano al crecimiento que se produce durante las 24 horas de un día solar. Ese incremento no es necesariamente continuo, sino que puede producirse solo durante una parte del día.



*Hace miles de años: nacer y crecer*

que se forma por el trabajo realizado diariamente por los ameloblastos permanece de por vida. La particular geometría de las cadenas o prismas de esmalte se ha estudiado durante años, hasta tal punto que es posible realizar estimaciones muy aproximadas del tiempo que tardan los ameloblastos en terminar la formación de la corona de esmalte. La dentina se configura de una manera similar, mediante la fisiología celular de los odontoblastos. Sin embargo, en el caso de la dentina no ha sido posible, al menos por el momento, visualizar de manera tan nítida las pequeñas porciones de esa sustancia formada por cada célula.

Sin entrar en más detalles, hoy en día, y gracias al poder de resolución de los microscopios modernos, es posible realizar estimaciones muy aproximadas del tiempo de formación tanto del esmalte como de la dentina. Se trata simplemente de contar esas pequeñas muescas que dejan tras de sí los ameloblastos cada 24 horas y realizar estimaciones de la velocidad de formación de la raíz de los dientes. Empleando este método, Bromage y Dean consiguieron calcular el tiempo de formación de los dientes de los australopitecos, los parántropos y de la especie *Homo habilis*, los más antiguos representantes conocidos del género *Homo*. De manera sorprendente, ambos comprobaron que las coronas de los incisivos de estos homínidos se configuraban en un tiempo similar o incluso inferior al de los simios antropoideos. En *Homo habilis* las coronas de los incisivos tardaban en formarse aproximadamente la mitad de tiempo que en *Homo sapiens*. El caso más extremo ocurría en los miembros del género *Paranthropus*, en los que la velocidad de formación de los dientes era hasta tres veces más rápida que en nuestra especie.

Considerando que el tiempo de configuración de los dientes refleja de manera muy aproximada el tiempo de formación de todo el organismo, la conclusión de Bromage y Dean era obvia: los australopitecos, los parántropos y los miembros de *Homo habilis* crecían y se desarrollaban en el mismo tiempo que los simios antropoideos. Las similitudes de estos últimos con los homínidos del Plioceno quedaban así más que justificadas. Su trabajo mereció ser publicado en la revista *Nature*, porque las teorías admitidas hasta ese momento sobre la biología de nuestros antepasados habían sido sustituidas por un nuevo

paradigma. Como ahora veremos, ese paradigma continúa siendo válido, aunque más de tres décadas después de aquel estudio pionero se hayan matizado muchos aspectos de las investigaciones iniciadas por estos científicos.

La cuestión que se planteó desde ese momento era averiguar cómo y cuándo se había producido en la genealogía humana la transición hacia un modelo de crecimiento y desarrollo como el de nuestra especie. A pesar de que se han vertido ríos de tinta en numerosas publicaciones científicas, lo cierto es que aún no tenemos respuesta a esa pregunta. Sabemos que el patrón *sapiens* de desarrollo dental tiene al menos 800.000 años de antigüedad, gracias a las investigaciones en los fósiles de la especie *Homo antecessor* de Atapuerca. El 80 % de los individuos identificados en la colección de fósiles humanos recuperados hasta la fecha en el nivel TD6 del yacimiento de la cueva de la Gran Dolina son inmaduros. Este hecho ha facilitado el estudio del desarrollo dental en varios de los individuos y el resultado ha sido consistente. En ese tiempo y en esa especie, los dientes se formaban y emergían en las encías siguiendo las mismas pautas que en *Homo sapiens*. Pero este resultado no nos dice nada sobre la velocidad de formación de los dientes. En caso de demostrarse la existencia de correlación estadística significativa entre el desarrollo de los dientes y el desarrollo general del organismo, también llamado desarrollo somático, todavía nos queda por averiguar si aquellos humanos llegaban a ser adultos en el mismo tiempo que nosotros y si las etapas de desarrollo, que veremos en el siguiente capítulo, eran las mismas en los humanos arcaicos y en nuestra propia especie. En efecto, nuestro crecimiento y desarrollo es único entre los primates vivos y no parece sencillo averiguar cuándo surgió un modelo somático similar al de *Homo sapiens*. Por ejemplo, no sabemos cuándo apareció la adolescencia, un período exclusivo de nuestra especie. Tampoco sabemos si las especies del Pleistoceno tuvieron adolescencia. Ignoramos si tenían estirón puberal o simplemente alcanzaban una estatura similar a la nuestra mediante un crecimiento continuo.

Resulta bastante probable que ni tan siquiera los neandertales, que son primos hermanos nuestros, tuvieran un modelo de desarrollo



*Hace miles de años: nacer y crecer*

somático similar al de *Homo sapiens*. La divergencia genética de estos homínidos y de los antepasados directos de nuestra especie sucedió hace aproximadamente 700.000 años, si no antes, de acuerdo con los datos que manejan los expertos en ADN recuperado de los fósiles. Esa cifra es muy alta y nos lleva casi hasta finales del Pleistoceno Inferior. Aunque estos especialistas han propuesto que los miembros de nuestra especie y los neandertales hibridaron y tuvieron descendencia fértil,<sup>10</sup> es muy probable que la biología del desarrollo de los neandertales no fuera idéntica a la nuestra. En cualquier caso, nos interesa saber cómo funciona el modelo de crecimiento y desarrollo de nuestra propia especie. Con la información de las páginas anteriores estamos en disposición de explicar con cierto detalle el modelo de crecimiento y el desarrollo de *Homo sapiens*. Y quién mejor que una pediatra para contarnos cómo es ese modelo.

10. En la actualidad se considera que las poblaciones de Eurasia y América llevamos en nuestro genoma entre un 2 y un 4 % de genes heredados de la hibridación con los neandertales.