Capítulo 1

Anatomía evolutiva de la columna vertebral humana

J. Mª Potau Ginés



PALABRAS CLAVE

Anatomía comparada

Bipedismo

Columna vertebral

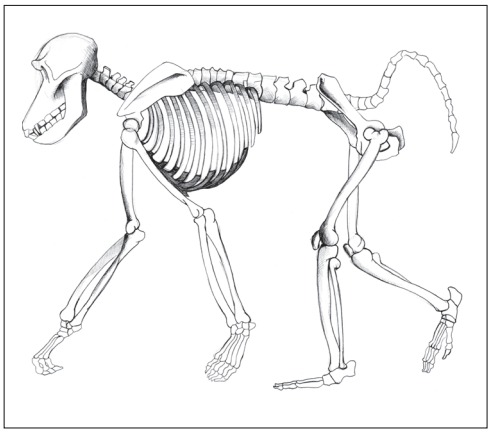
INTRODUCCIÓN

El estudio comparativo de la anatomía de la columna vertebral entre el hombre y los simios antropomorfos, especies altamente emparentadas filogenéticamente que comparten un patrón corporal ortógrado pero con adaptaciones especializadas a diferentes tipos de locomoción, permitirá entender mejor cuáles son las principales características morfológicas y estructurales que presenta la columna vertebral de un primate bípedo, el *Homo sapiens.* También, el estudio comparativo permite entender el porqué de la elevada frecuencia que presentan algunas patologías degenerativas de la columna vertebral de los humanos debido a su peculiar modo de locomoción.

ADAPTACIONES DE LA COLUMNA VERTEBRAL HUMANA AL BIPEDISMO

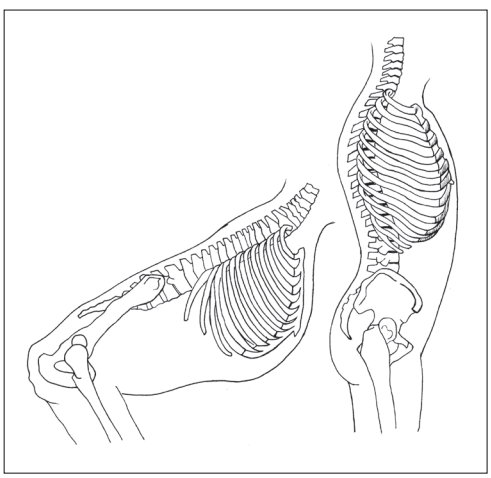
El hombre pertenece al orden Primates, un grupo de animales caracterizados por el elevado tamaño de su encéfalo, la frontalización de los globos oculares que les confiere una buena visión estereoscópica, la presencia de manos y pies prensiles y la existencia de uñas en vez de garras. Según el patrón corporal que presenten, los primates se pueden dividir en pronógrados y ortógrados. Los primates pronógrados se caracterizan por una posición del tronco en el plano transversal, paralelo al suelo, y por desarrollar formas de locomoción de tipo cuadrúpeda, arbórea o terrestre (fig. 1-1). Por su parte, los primates ortógrados, formados por los géneros *Hylobates* (gibones), *Pongo* (orangutanes), *Gorilla* (gorilas), *Pan* (chimpancés) y *Homo* (hombre), presentan una posición más verticalizada del tronco (fig. 1-2) y desarrollan tipos de locomoción derivados de esta posición característica del tronco, como la escalada vertical, la braquiación, el nudilleo *(knuckle-walking)* o el bipedismo.

La posición ortógrada del tronco requiere una remodelación de la forma de las vértebras respecto a los animales pronógrados, debido a que en



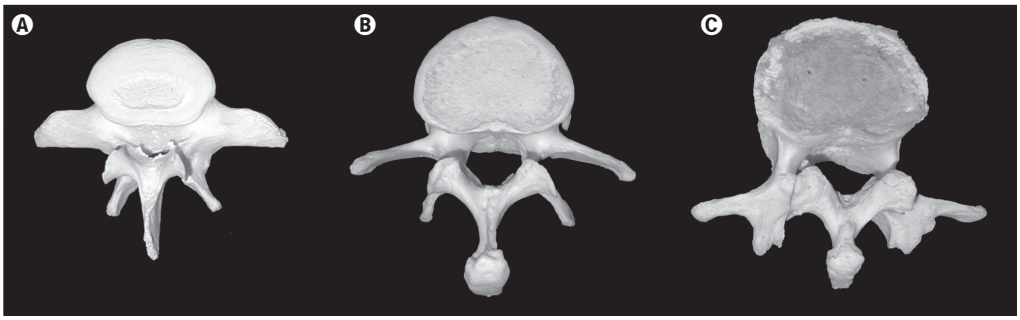
▲ **Figura 1-1**
Patrón estructural del esqueleto de un primate pronógrado con locomoción cuadrúpeda terrestre. Adaptada de *The Cambridge Encyclopedia of Human Evolution.* Cambridge University Press (1992).

los primeros las vértebras soportan una mayor proporción del peso corporal. Así, las vértebras de los primates ortógrados, incluido el hombre, se caracterizan por presentar los dos diámetros del cuerpo vertebral en el plano transversal más grandes que el diámetro en el plano sagital, al revés de lo que pasa en los pronógrados (figs. 1-3 y 1-4). Este hecho permite aumentar la superficie de los cuerpos vertebrales con lo que pueden absorberse mejor las fuerzas compresivas derivadas de la posición verticalizada del tronco.

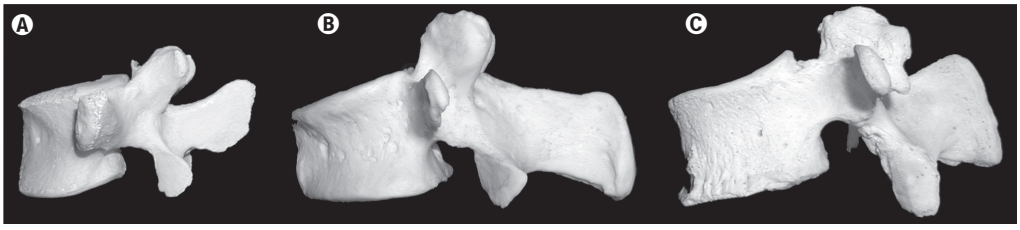


▲ **Figura 1-2**
Patrón estructural del esqueleto del tronco en dos primates ortógrados (chimpancé y humano). Adaptada de *An Introduction to Human Evolutionary Anatomy.* Academic Press (1999). (After Schultz. The life of primates. Londres: Weidenfeld and Nicolson; 1969).

Además de este carácter anatómico compartido por todos los primates ortógrados, las vértebras de los humanos presentan características derivadas propias, que representan adaptaciones al bipedismo. Algunos cambios ya se observan en el número de vértebras que existen en cada región de la columna vertebral (fig. 1-5). Los simios antropomorfos (gibones, orangutanes, gorilas y chimpancés) presentan 7 vértebras cervicales (un número constante en la práctica totalidad de los mamíferos), 13 vértebras torácicas, 3 o 4 vértebras lumbares y 5 o 6 vértebras sacras. La presencia de menos vértebras lumbares que en los humanos, junto con la mayor proximidad que existe entre las últimas costillas y las crestas ilíacas, implica una mayor rigidez de la región lumbar, hecho que representa una adaptación a la locomoción arbórea puesto que el tronco se desplaza como una unidad estructural. Sin embargo, en los humanos, se observa una mayor longitud de la columna lumbar respecto al resto de los simios antropomorfos, debido a que T13 se transforma en L1 y S1 se transforma en L5, con lo que el número de vértebras lumbares pasa de 3 o 4 en los simios antropomorfos a 5 en los humanos. El alargamiento de la columna lumbar es una clara adaptación a la locomoción bípeda, puesto que permite una mayor flexibilidad del tronco, indispensable para que pueda realizar los movimientos rotacionales en el plano transversal que contrarrestan los mismos movimientos, pero de sentido contrario, que realiza la pelvis para aumentar la longitud de la zancada durante la marcha bípeda. Esta constitución más flexible del tronco en los humanos también está favorecida por la mayor separación existente entre las últimas costillas y la cresta ilíaca, que se debe, por una parte, a la transfor-



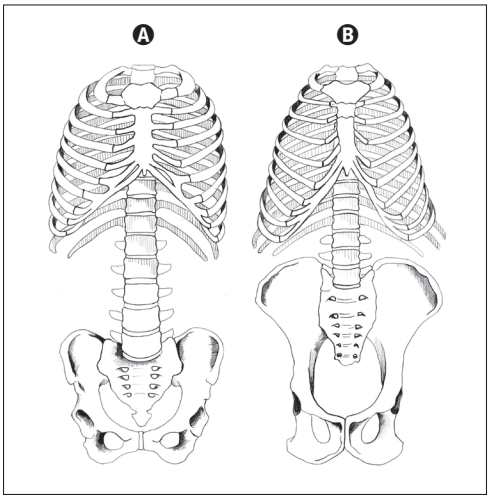
▲ **Figura 1-3**
Visión caudal de L2 del primate pronógrado *Papio hamadryas* (**A**) y de los primates ortógrados *Pan troglodytes* (**B**) y *Homo sapiens* (**C**).



▲ **Figura 1-4**
Visión lateral de L2 del primate pronógrado *Papio hamadryas* (**A**) y de los primates ortógrados *Pan troglodytes* (**B**) y *Homo sapiens* (**C**).

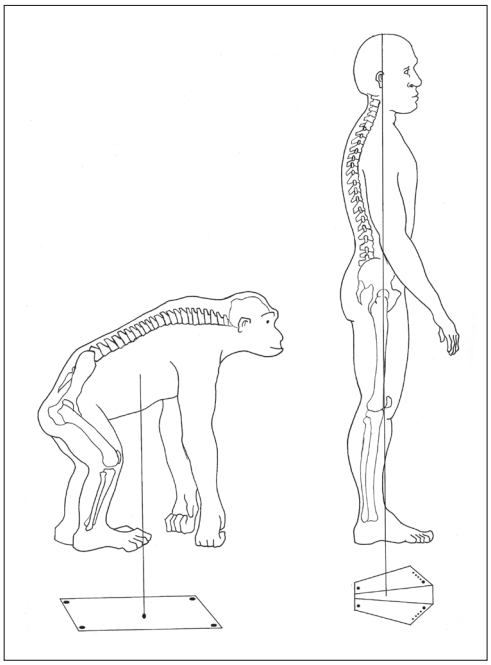
mación de T13 en L1, con la consiguiente pérdida del decimotercer par de costillas, y, por otra parte, al acortamiento que se produce en el cuerpo del ílion humano, también como una adaptación al bipedismo que se describe más adelante. La tendencia que presentan los simios antropomorfos a «rigidificar» la región lumbar del tronco para favorecer la locomoción arbórea y la tendencia contraria que presentan los humanos para mejorar la locomoción bípeda queda perfectamente reflejada en el hecho de que cuando se presentan costillas supranumerarias, éstas acostumbran a ser lumbares en los grandes simios antropomorfos y cervicales en los humanos.

Otra característica morfológica de la columna vertebral de los simios antropomorfos es el aspecto rectificado que presentan las lordosis cervical y lumbar y, también, la cifosis torácica (fig. 1-6). Como es sabido, la lordosis



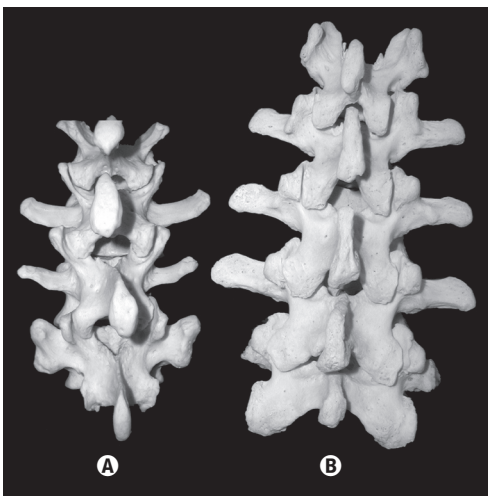
▲ **Figura 1-5**
Comparación del número de vértebras entre un humano (**A**) y un chimpancé (**B**).

Adaptada de *An Introduction to Human Evolutionary Anatomy.* Academic Press (1999). (After Schultz. Proc Am Phil Soc. 1950;94:428-49.)



▲ **Figura 1-6**
Aspecto de las curvas de la columna vertebral entre un primate bípedo *(Homo sapiens)* y un primate cuadrúpedo *(Pan troglodytes)*.

Adaptada de *An Introduction to Human Evolutionary Anatomy.* Academic Press (1999). (After Zihlman and Brunker. Yearbook Phys Anthropol. 1979;22:132-62.)

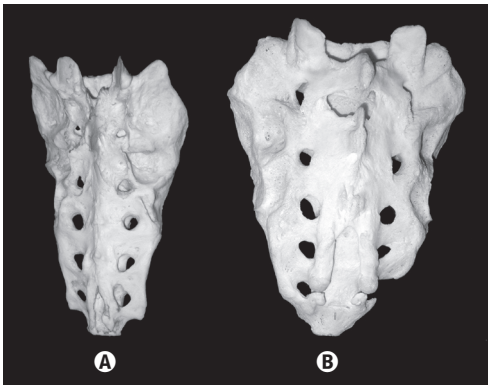


▲ **Figura 1-7**
Visión posterior de la columna lumbar de *Pan troglodytes* (**A**) y de *Homo sapiens* (**B**).

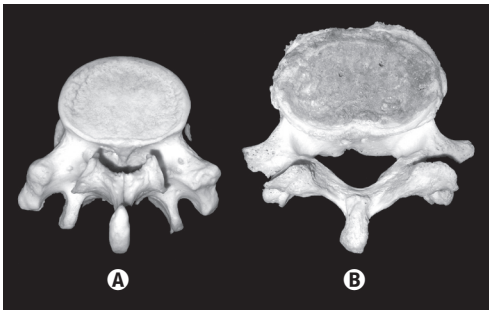
cervical está más desarrollada en los humanos debido a la posición de la cabeza por encima de la columna cervical en vez de por delante suyo (la lordosis cervical aparece a los 3 meses de edad cuando el niño empieza a mantener la cabeza en posición elevada). Por su parte, la lordosis lumbar también representa una adaptación al bipedismo, puesto que permite retrasar el centro de gravedad para que se proyecte sobre el área de sustentación bipodal (la lordosis lumbar aparece en los niños hacia el primer año y medio de vida, cuando empieza a dominar la marcha bípeda). Por último, el mayor grado de rectificación de la cifosis torácica en los simios antropomorfos es una consecuencia del menor grado de las lordosis cervical y lumbar.

Por otra parte, las vértebras lumbares de los humanos actuales se diferencian de las de los simios antropomorfos por ser más anchas y altas, detalle que traduce su mayor grado de robusticidad necesario para el mantenimiento de un bipedismo habitual. También, las vértebras lumbares humanas presentan características anatómicas particulares que se relacionan con la morfología y disposición particular del sacro en un individuo bípedo. Así, la distancia intermamilar se hace progresivamente superior craneocaudalmente en los humanos y no en los simios antropomorfos (fig. 1-7), hecho que traduce la gran amplitud que presenta el sacro en los humanos (fig. 1-8). También las caras articulares inferiores de L5 se orientan lateralmente en los simios antropomorfos, mientras que en los humanos se orientan hacia delante (fig. 1-9). Este detalle evita el desplazamiento anterior de L5 sobre el sacro en los humanos, en los que el sacro presenta una disposición más angulada (60°) respecto a la columna lumbar que en los simios antropomorfos (30°).

La mayor amplitud del sacro en los humanos permite una mayor dimensión del diámetro transversal del estrecho superior de la pelvis para favorecer el mecanismo del parto, puesto que compensa el acortamiento del diámetro anteroposterior de este estrecho debido



▲ **Figura 1-8**
Visión posterior del sacro de *Pan troglodytes* (**A**) y de *Homo sapiens* (**B**).



▲ **Figura 1-9**
Visión inferior de la última vértebra lumbar de *Pan troglodytes* (**A**) y de *Homo sapiens* (**B**).



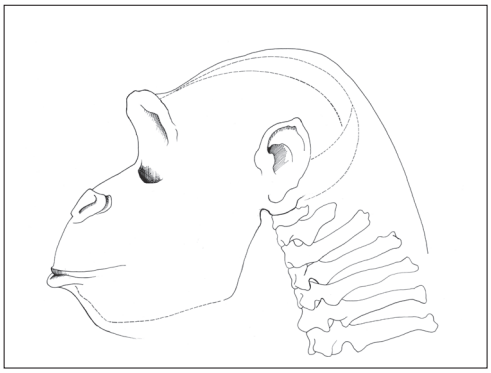
◀ **Figura 1-10**
Corte sagital del tronco de *Homo sapiens*.

a la reducción de la longitud del cuerpo del ílion que han experimentado los humanos como adaptación al bipedismo. También, la mayor amplitud del sacro humano desplaza lateralmente las articulaciones sacroilíacas y las sitúa por encima de las articulaciones coxofemorales, lo que reduce el estrés mecánico que ha de soportar el cuerpo del ílion en posición bípeda. Por otra parte, la mayor angulación existente entre el sacro humano y la columna lumbar, que se traduce en una posición más horizontal del sacro, permite ampliar el canal del parto en los humanos, al mismo tiempo que el sacro se transforma en una plataforma de inserción óptima para la musculatura erectora de la columna vertebral (fig. 1-10). La estabilización del sacro en esta posición horizontal se garantiza gracias a la tensión y al gran desarrollo que presentan los ligamentos sacrotuberoso y sacroespinoso en los humanos, evitando el colapso del sacro en nutación (fig. 1-11).

El bipedismo humano también implica una posición de la cabeza por encima de la columna vertebral, lo que mejora su equilibrio y determina unas características anatómicas específicas en las vértebras cervicales que las diferencian de las de los simios antropomorfos, que presentan una posición de la cabeza más adelantada respecto a la columna cervical. Así, la postura bípeda humana implica una posición más adelantada del agujero magno y de los cóndilos occipitales y este hecho, junto a la característica reducción del esqueleto facial que se ha producido en los humanos, ha tenido un efecto sobre las fuerzas requeridas para mover y balancear la cabeza sobre la columna cervical. Efectivamente, se ha calculado que para mantener la cabeza elevada, los músculos nucales de los humanos deben ejercer una fuerza equivalente al 22,3 % del peso total de la cabeza,

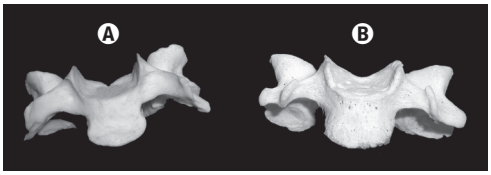
► **Figura 1-11**
Disposición de los ligamentos sacrotuberoso y sacroespinoso en *Homo sapiens.*





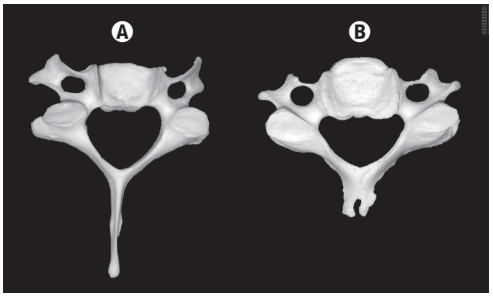
▲ **Figura 1-12**
Detalle de la columna vertebral cervical del gorila mostrando la marcada longitud de las apófisis espinosas que traduce el gran tamaño de la masa muscular nucal en un cuadrúpedo.

Adaptada de *An Introduction to Human Evolutionary Anatomy.* Academic Press (1999). (After Willoughby. All about the Gorillas. New Jersey: Barnes; 1978).



▲ **Figura 1-14**
Visión anterior de C4 de *Pan troglodytes* (**A**) y de *Homo sapiens* (**B**).

mientras que los mismos músculos de los simios antropomorfos tienen que realizar una fuerza del 120 % del peso total de la cabeza. Debido a esto, los humanos se caracterizan por presentar unos músculos nucales menos



▲ **Figura 1-13**
Visión craneal de C4 de *Pan troglodytes* (**A**) y de *Homo sapiens* (**B**).

desarrollados que los de los simios antropomorfos, y esto se ve reflejado en la menor longitud que presentan las apófisis espinosas en los humanos (figs. 1-12 y 1-13). Otro aspecto característico de las vértebras cervicales humanas que refleja un mejor equilibrio cefálico debido al bipedismo es el menor desarrollo que presentan las apófisis unciformes o ganchos del cuerpo en comparación con los simios antropomorfos (fig. 1-14). Recuérdese que las apófisis unciformes forman articulaciones atípicas con el cuerpo de la vértebra inmediatamente superior que se cree que son adaptaciones a los movimientos rotatorios de la columna cervical, estando ausentes en aquellos animales como los équidos y los bóvidos que giran la cabeza más que la columna cervical para cambiar el plano de visión.

Por último, la posición de la cabeza por encima de la columna cervical y su mejor equilibrio en la postura bípeda determina cambios anatómicos característicos en los humanos que afectan selectivamente a las dos primeras vértebras cervicales. Así, el atlas de los humanos se diferencia del de los simios antropomorfos por unas caras articulares superiores menos cóncavas, mientras que en el axis sus caras articulares superiores muestran un grado de angulación menor respecto al plano transversal (fig. 1-15), y su diente presenta una disposición vertical, mientras que la de los simios antropomorfos está ligeramente inclinada hacia atrás.

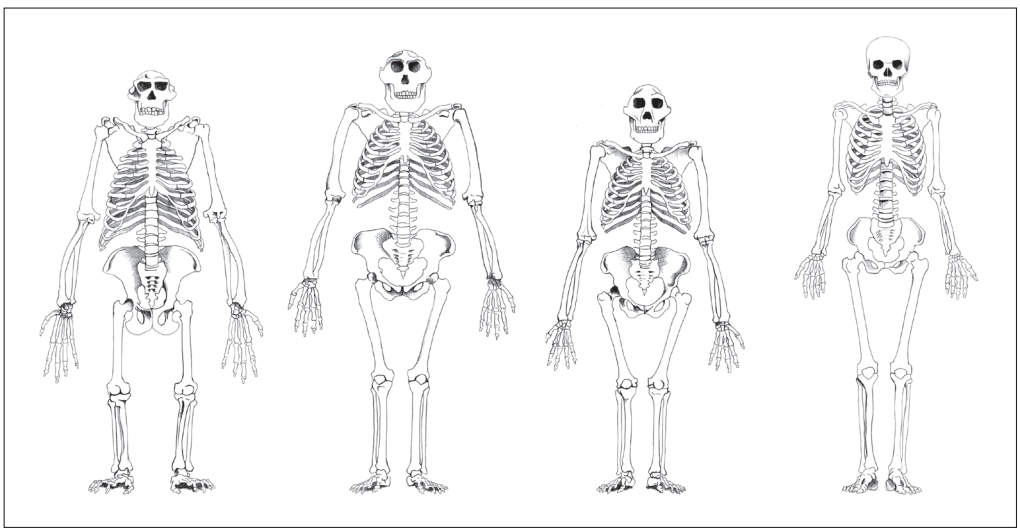


▲ **Figura 1-15**
Visión anterior de C2 de *Pan troglodytes* (**A**) y de *Homo sapiens* (**B**).

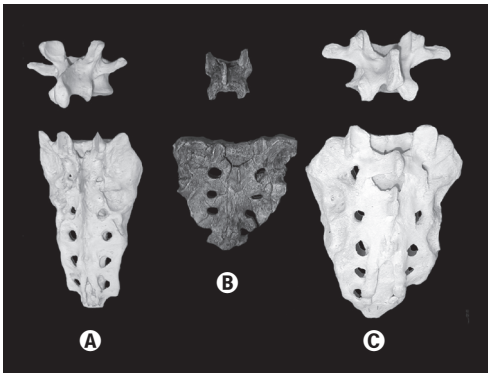
■ LA COLUMNA VERTEBRAL HUMANA EN EL REGISTRO FÓSIL

La fragilidad de las vértebras cervicales de los primates ortógrados explica que estén poco representadas en el registro fósil más antiguo, entre hace 7 y 2 millones de años, correspondientes a los períodos geológicos Mioceno Superior y Plioceno. Este período se caracteriza, paleoantropológicamente, por la aparición de la línea homínida, cuando aparecieron los primeros primates bípedos habituales, y por la presencia de las diferentes especies pertenecientes al género *Australopithecus,* antecesor del género *Homo* al que pertenecen los humanos actuales (fig. 1-16). Este género *Homo* aparece con las especies *Homo habilis* y *Homo rudolfensis* hace unos 1,9 millones de años en el este africano, pero las vértebras cervicales fósiles que se conocen de algunas especies pertenecientes a este género (*Homo ergaster, Homo heidelbergensis, Homo neandertalensis,* etc.) son ya muy parecidas, exceptuando algunas adaptaciones particulares a las de los humanos modernos.

Por el contrario, la mayor robustez de las vértebras lumbares ha permitido que una mayor representación de éstas en el registro fósil antiguo, por lo que se ha obtenido una mejor información sobre cómo se pudo haber producido el bipedismo humano. Las vértebras lumbares más antiguas mejor conocidas corresponden al homínido AL-288-1 (más popularmente conocido con el apelativo de «Lucy»), un representante de la especie *Australopithecus afarensis* (de 3,5 a 3 millones de años) de la que, entre otros huesos poscraneales, se ha conservado una vértebra lumbar



▲ **Figura 1-16**
Esquema comparativo del patrón corporal de *Pan troglodytes, Australopithecus afarensis, Australopithecus africanus* y *Homo sapiens.*
Adaptada de National Geographic Society España. Vol. 3 N.º 2. Agosto 1998.



▲ **Figura 1-17**
Visión posterior de L3 y del sacro de *Pan troglodytes* (**A**), *Australopithecus afarensis* (AL-288-1) (**B**) y *Homo sapiens* (**C**).

(posiblemente L3), el sacro y un hueso ilíaco (fig. 1-17). Igual que ocurre con los humanos, la distancia intermamilar de esta vértebra es inferior que la del sacro, lo que indica un incremento de la distancia intermamilar en la dirección craneocaudal, hecho que traduce la presencia de un sacro ancho que, como se ha citado con anterioridad, es una adaptación al bipedismo. Asimismo, también puede afirmarse que en *Australopithecus afarensis* existía una gran angulación entre la columna lumbar y el sacro debido, probablemente, a una lordosis lumbar y a la posición horizontal del sacro. Esta última afirmación se puede realizar a partir de la orientación en el plano coronal que presentan las apófisis articulares del sacro, parecida a la que se observa en los humanos actuales.



▲ **Figura 1-18**
Visión lateral del hueso ilíaco de *Pan troglodytes* (**A**), *Australopithecus afarensis* (AL-288-1) (**B**) y *Homo sapiens* (**C**).

También se conocen dos columnas lumbares de los homínidos STS-14 y STW-431, pertenecientes a la especie *Australopithecus africanus* (de 3 a 2 millones de años), procedentes del sur de África. En estas columnas lumbares más recientes también se pueden apreciar marcadas adaptaciones al bipedismo, que se encuentran en los humanos actuales pero no en los simios antropomorfos. Así, *Australopithecus africanus* presenta un total de cinco vértebras lumbares, con lo que se flexibiliza la región lumbar del tronco, hecho acentuado por el acortamiento del cuerpo del ílion, que puede apreciarse tanto en AL-288-1 como en STS-14, con lo que se incrementa la distancia entre la cresta ilíaca y las costillas y se libera el movimiento de las vértebras lumbares inferiores al no quedar encerradas entre las tuberosidades ilíacas (fig. 1-18). También, se observa en *Australopithecus africanus* un progresivo incremento craneocaudal de la distancia intermamilar que supone la presencia de un sacro ancho, confirmado con el sacro parcialmente conservado de STS-14. Por último, las vértebras lumbares de STS-14 presentan un marcado acuñamiento, siendo más altas anteriormente que posteriormente, hecho que traduce la presencia de una lordosis lumbar y que también se observa en los humanos, pero no en los simios antropomorfos.

Además de estas columnas lumbares fósiles, que indican que las principales adaptaciones anatómicas vertebrales al bipedismo ya existían en los *Australopithecus* hace 3,5 millones de años, se conocen más restos fósiles de la columna vertebral pertenecientes a individuos de diferentes especies del género *Homo.* Entre estos fósiles destacan los restos pertenecientes al homínido KNMWT-15000 (*Homo*

ergaster), de hace 1,8 a 1,4 millones de años, y restos pertenecientes a *Homo heidelbergensis* (de 500.000 a 200.000 años) y a *Homo neandertalensis* (de 200.000 a 30.000 años). De todas formas, a partir de *Homo ergaster* (de 1,8 a 1,4 millones de años), quedan ya fijadas las características anatómicas definitivas del esqueleto poscraneal que presentan los humanos actuales, presentándose únicamente pequeñas variaciones anatómicas específicas de cada especie de escasa importancia funcional.

BIBLIOGRAFÍA GENERAL

Abitbol MM. Evolution of the lumbosacral angle. Am J Phys Anthrop. 1987;72:361-72.

Abitbol MM. Evolution of the sacrum in hominoids. Am J Phys Anthrop. 1987;74:65-81.

Aiello L, Dean C. An introduction to human evolutionary anatomy. Londres: Academic Press; 1990.

Ankel-Simons F. Primate anatomy. 2.ª ed. Londres: Academic Press; 2000.

Fleagle JG. Primate adaptation and evolution. 2.ª ed. San Diego: Elsevier Academic Press; 1999.

Gebo DL, ed. Postcranial adaptation in nonhuman primates. Northern Illinois University Press; 1993.

Haeusler M, Martelli SA, Boeni T. Vertebral numbers of the early hominid lumbar spine. J Hum Evol. 2002;43:621-43.

Johanson DC, Lovejoy CO, Kimbel WH, White TD, Ward SC, Bush ME, et al. Morphology of the Pliocene partial hominid skeleton (A.L. 288-1) from the Hadar Formation, Ethiopia. Am J Phys Anthropol. 1982;57:403-52.

Kardong KV. Vertebrados: anatomía comparada, función, evolución. 2.ª ed. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana; 2001.

Liem KF, Bemis WE, Walker WF, Grande L. Functional anatomy of the vertebrates. An evolutionary perspective. 3.ª ed. Brooks/Cole-Thompson Learning Belmont; 2001.

Lovejoy CO. Histoire naturelle de la marche et de la posture humaine: colonne vertébrale et pelvis. EMC-Kinésithérapie. 2005;1:129-51.

Nadal J. Vertebrados. Barcelona: Ediciones Omega-Edicions Universitat de Barcelona; 2001.

Panchen AL. The origin and early evolution of the tetrapod vertebrae. Linn Soc Symp. 1977;4: 289-318.

Parrington FR. The vertebrae of early tetrapods. Colloq Int Cent Nat Rech Sci. 1967;163:267-79.

Penning L. Functional significance of the uncovertebral joints. Ann Royal Coll Surg Engl. 1988;70: 164.

Pirlot P. Morfología evolutiva de los cordados. Barcelona: Ediciones Omega; 1976.

Sanders WJ. Comparative morphometric study of the australopithecine vertebral series STW-H8/H41. J Hum Evol. 1998;34:249-302.

Schultz AH. Conditions for balancing the head in primates. Am J Phys Anthropol. 1942;29: 483-97.

Schultz AH. Vertebral column and thorax. Primatologia. 1961;4:1-66.

Verbout AJ. The development of the vertebral column. Adv Anat Embry Cell Biol. 1985;90: 1-120.