

# Capítulo 2. Anatomía de la columna vertebral

## **2.1. *Introducción***

En este capítulo se hace una breve descripción anatómica de la columna vertebral del ser humano. No se pretende hacer un riguroso estudio anatómico y no se profundiza en los detalles que no vayan a ser de interés para el trabajo aquí desarrollado.

En primer lugar se describe de forma general la columna vertebral del ser humano y el proceso de desarrollo de la misma desde el nacimiento hasta su completa formación. A continuación se explica la función que desempeña la columna vertebral y su gran importancia para el funcionamiento del ser humano. Sigue un apartado dedicado a la morfología de las vértebras a lo largo de toda la columna. Aquí también explicaremos su estructura interna, basada en estudios experimentales. A continuación se explica el disco intervertebral, elemento de elevada relevancia por la función que desempeña de transmisión de las cargas. Le sucede un apartado dedicado a los ligamentos y músculos presentes en la columna, que se incluye para una mejor comprensión del problema al que nos enfrentamos, pero que no se han modelado en la simulación de elementos

finitos por simplicidad. Por último, se define lo que es un segmento de movilidad columnar y los grados de libertad que cada segmento presenta.

## **2.2. Descripción general de la columna vertebral**

Durante la filogénesis, es decir, en el transcurso de la evolución de la especie humana a partir de los prehomínidos, el paso de la cuadrupedia a la bipedestación indujo al enderezamiento y después a la inversión de la curva lumbar, inicialmente cóncava hacia delante; de este modo apareció la lordosis lumbar cóncava hacia atrás. Esta lordosis lumbar que, por otra parte, varía según los individuos, dependiendo del grado de anteversión o de retroversión de la pelvis. Simultáneamente, el raquis cervical, que se articulaba con la caja craneal por detrás, se vio progresivamente desplazado por debajo del cráneo.

En la posición cuadrúpeda, los cuatro miembros son portadores, mientras que en posición bípeda, sólo el miembro inferior es portador.

La columna vertebral es la estructura básica del tronco (Figura 2.1). Consta de 33-34 vértebras y discos intervertebrales. Las vértebras se dividen en:

- 7 vértebras cervicales
- 12 vértebras torácicas
- 5 vértebras lumbares
- 5 vértebras sacras
- 4-5 vértebras coccígeas

Las vértebras cervicales, dorsales y lumbares son libres, independientes unas de otras, separadas entre sí por los discos intervertebrales. Por el contrario las vértebras pélvicas se sueldan formando 2 estructuras óseas el sacro y el cóccix . Tampoco existe una articulación entre sacro y cóccix.

Durante la ontogénesis, es decir, en el transcurso del desarrollo del individuo, se puede comprobar como, en el caso del raquis lumbar, se lleva a cabo la misma evolución. Las curvaturas de la columna (Figura 2.2) se desarrollan como consecuencia de las sobrecargas que conllevan el sentarse y la posición erecta. La capacidad de soportar la presión depende del grado de osificación de las vértebras, de forma que la configuración definitiva de la columna (D) no se alcanza hasta después de la pubertad,

cuando aquella se sitúa en parte por delante y en parte por detrás de la línea de gravedad. En un niño de 10 meses (E) las curvaturas ya están presentes, pero dicha línea se encuentra por detrás de la columna. En un niño de 3 meses (F) las curvaturas sólo están esbozadas. La columna del adulto (D) muestra en el plano sagital dos curvaturas convexas hacia delante o lordosis en las regiones cervical y lumbar (1) y dos hacia atrás o cifosis en las regiones sacra y torácica (2). De este modo, la evolución del individuo es paralela a la evolución de la especie.

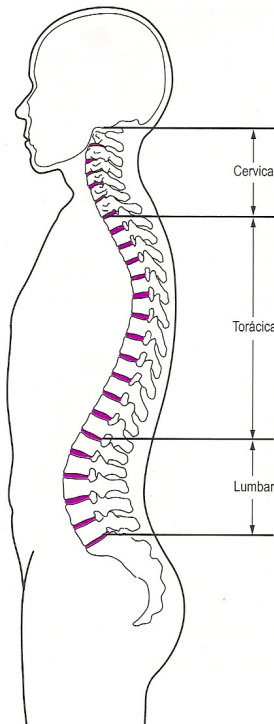


Figura 2.1. Columna vertebral

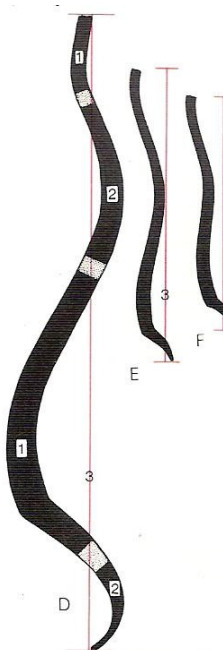


Figura 2.2. Curvaturas de la columna vertebral en un adulto, en un niño de 10 meses y de 3 meses, respectivamente.

A excepción de la curvatura sacra (que es fija), en general se admite que las restantes, se mantienen merced al equilibrio entre su conformación osteoarticular intrínseca y musculoligamentosa, y las fuerzas externas que tienden a alterar dicha situación (acción gravedad, las cargas). En dicho equilibrio será básica la acción de un complicado sistema de ligamentos y músculos, fundamentales para su estabilidad, y que le permiten participar en casi todos los movimientos del cuerpo.

La transición de unas a otras se realiza de forma gradual, excepto en el disco que separa la 5ª lumbar del sacro, zona donde existe una brusca inflexión que se denominará

“promontorio”. En general esta inflexión es más pronunciada en la mujer que en el varón.

### **2.3. Funciones de la columna vertebral**

La columna vertebral es una estructura compleja y multisegmentaria que desempeña numerosas funciones. La columna funciona como una unidad a través de diferentes mecanismos.

- Ofrece apoyo a la cabeza, los miembros superiores y la caja torácica durante la realización de movimientos y de actividades de carga de peso.
- Ofrece protección a los órganos vitales, como el corazón y los pulmones, así como a tejidos blandos, como la médula espinal, durante la realización de los movimientos fisiológicos y de las actividades de carga de peso.
- Ofrece además una estructura para la inserción de los músculos del abdomen y el tórax, así como también para algunos músculos de los miembros superior e inferior.
- Permite el movimiento en toda su longitud y potencia los movimientos de las extremidades superior e inferior.
- Incrementa los campos visual y auditivo.
- Además, la columna vertebral configura el cuerpo humano en las posturas estáticas y dinámicas, facilitando el paso de las primeras a las segundas.
- Finalmente, actúa como un dispositivo para la absorción de fuerzas de choque.

### **2.4. La vértebra humana**

El cuerpo vertebral está constituido por un cilindro de tejido óseo esponjoso, rodeado por una fina capa de hueso cortical. En un corte coronal del cuerpo vertebral se puede constatar con claridad que en el centro del cuerpo vertebral las trabéculas de hueso esponjoso se distribuyen siguiendo líneas de fuerza. Estas líneas son verticales y unen la meseta superior e inferior, u horizontales que unen las dos corticales laterales, o también oblicuas, uniando entonces la meseta inferior con las corticales laterales (Figura 2.3).

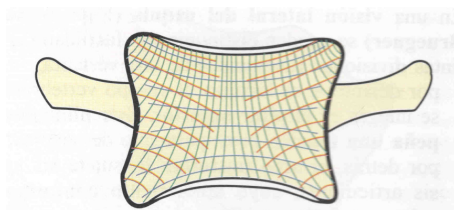


Figura 2.3. Corte coronal del cuerpo vertebral. Dirección de las trabéculas

En un corte sagital aparecen nuevamente las citadas trabéculas verticales, pero además, existen dos sistemas de fibras oblicuas denominadas fibras en abanico: por una parte, un abanico que se origina en la meseta superior para expandirse, a través de los dos pedículo, hacia la apófisis articular superior de cada lado y la apófisis espinosa; por otra parte, un abanico que se origina en la meseta inferior para expandirse, a través de los dos pedículos, hacia las dos apófisis articulares inferiores y la apófisis espinosa (Figura 2.4).

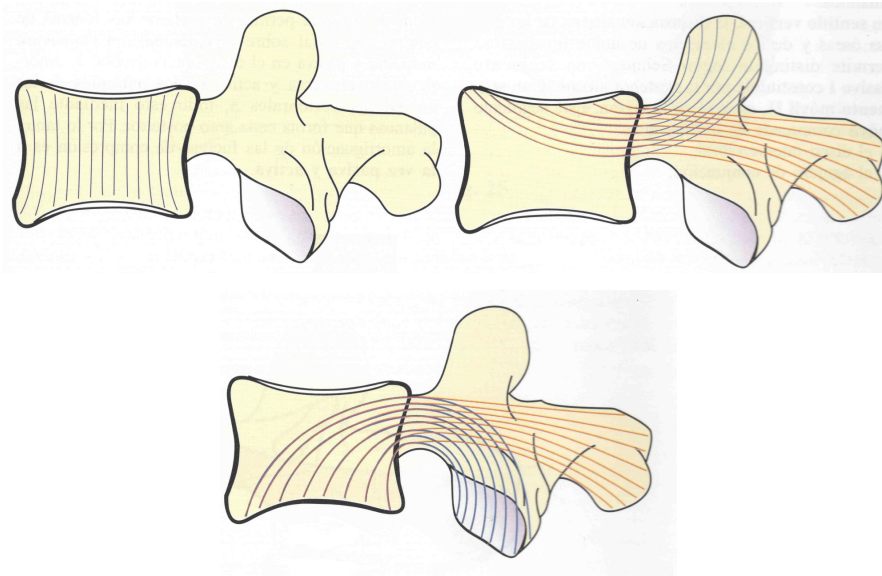


Figura 2.4. Corte sagital del cuerpo vertebral. Dirección de las trabéculas.

El cruce de estos tres sistemas trabeculares establece puntos de gran resistencia, pero también un punto de menor resistencia, y en particular un triángulo de base anterior donde no existen más que trabéculas verticales. Esto puede explicar que la fractura en cuña anterior de los cuerpos vertebrales sea la más frecuente, en especial si hay alteración en el hueso trabecular, y la carga que se le coloca a la columna sea grande (Figura 2.5).

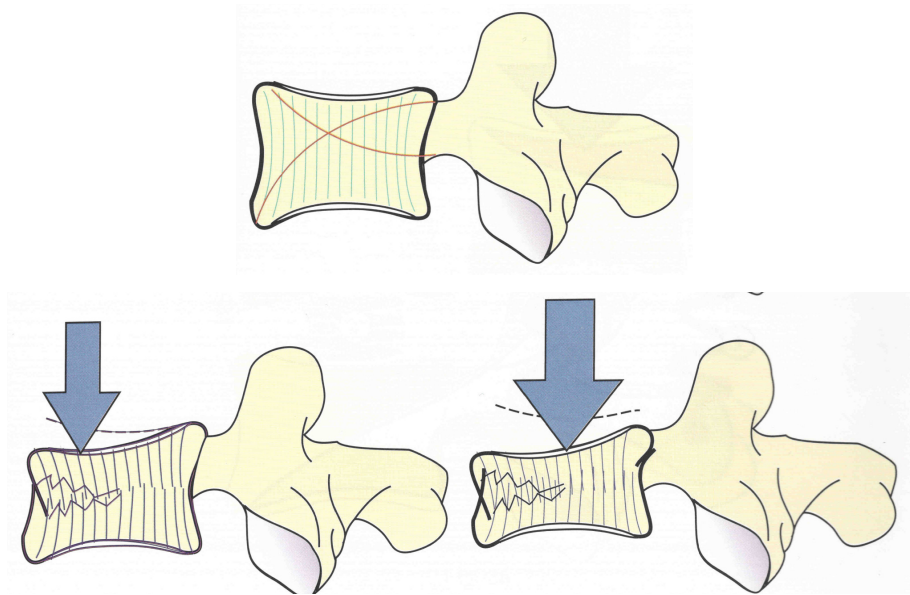


Figura 2.5. Punto de menor resistencia. Fractura del cuerpo vertebral.

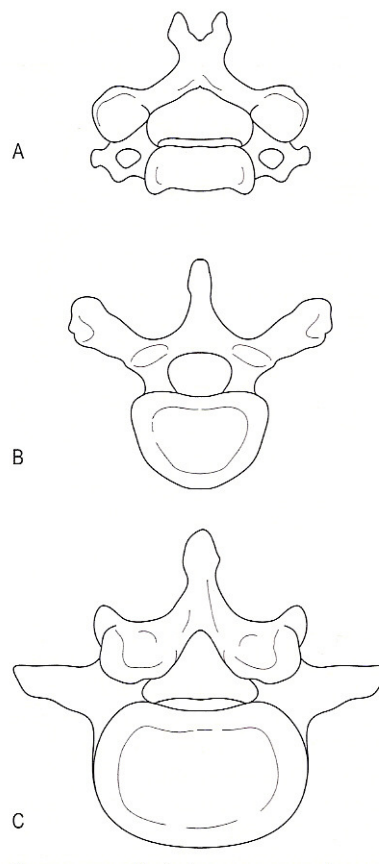


Figura 2.6. Variación de los cuerpos vertebrales a lo largo de la columna vertebral

Los cuerpos vertebrales varían en tamaño y forma a lo largo de toda la columna vertebral, según su posición. Las vértebras lumbares son más grandes y resistentes que

las torácicas que, a su vez, son sustancialmente más resistentes que los finos y delicados cuerpos vertebrales cervicales (Figura 2.6).

El arco vertebral (Figura 2.7), localizado por detrás del cuerpo vertebral, está constituido por dos pedículos y dos láminas a partir de las cuales se proyectan las apófisis espinosas, dos apófisis transversas, dos apófisis articulares inferiores y dos apófisis articulares superiores. La naturaleza, la forma y la dirección de esas apófisis varía en las distintas regiones de la columna vertebral. Las apófisis espinosas y transversas actúan como puntos de anclaje para los ligamentos de apoyo y para los músculos, con objeto de incrementar su potencial de apalancamiento. Las apófisis articulares presentan una superficie articular denominada carilla articular. La carilla articular superior de una vértebra se articula con la carilla articular inferior de la vértebra situada inmediatamente por encima, constituyendo la articulación cigapofisaria (Figura 2.8).

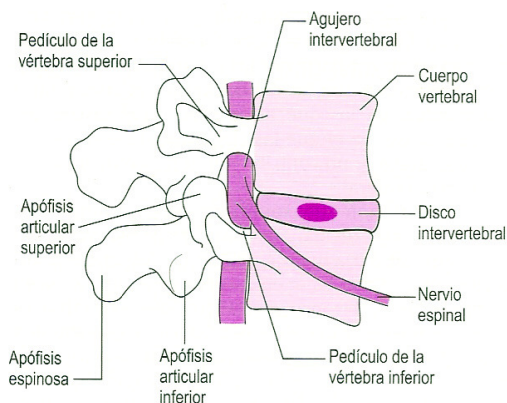


Figura 2.7. Nomenclatura de las partes de una vértebra.

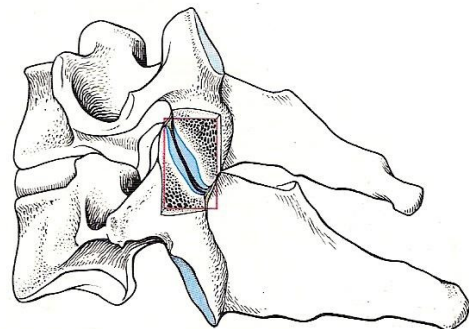


Figura 2.8. Articulación cigapofisaria

## **2.5. El disco intervertebral**

Los discos intervertebrales facilitan y restringen los movimientos que tienen lugar entre los cuerpos vertebrales, y transmiten la carga de un cuerpo vertebral al siguiente. Cada disco intervertebral consta de un resistente anillo fibroso externo y un blando núcleo gelatinoso, llamado núcleo pulposo (Figura 2.9).



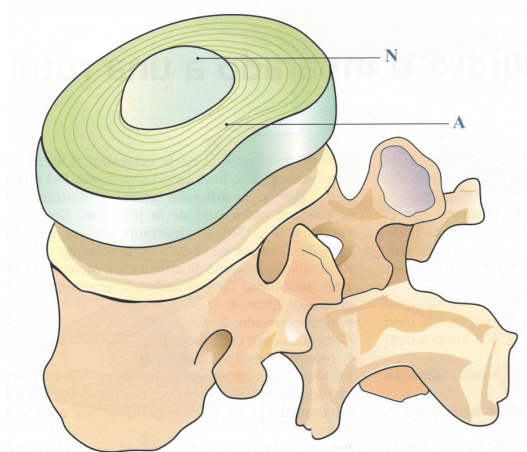


Figura 2.9. Núcleo pulposo y anillo fibroso.

La parte interna del anillo está unida por encima y por debajo a la lámina terminal vertebral, mientras que la parte externa se inserta en el periostio y en el anillo epifisario del cuerpo vertebral, siendo reforzada por los ligamentos longitudinales anterior y posterior (Figura 2.10). La lámina terminal, constituida por cartílago hialino, es permeable y se sitúa entre el disco y el cuerpo vertebral. El agua y los nutrientes discurren entre el núcleo y el hueso esponjoso del cuerpo vertebral a través de la lámina terminal. La resistencia a la carga es muy grande, pues el umbral de ruptura de la lámina terminal en un adulto normal es del orden de 400 a 500 kg.; reduciéndose con la osteoporosis por la pérdida de tejido esponjoso.

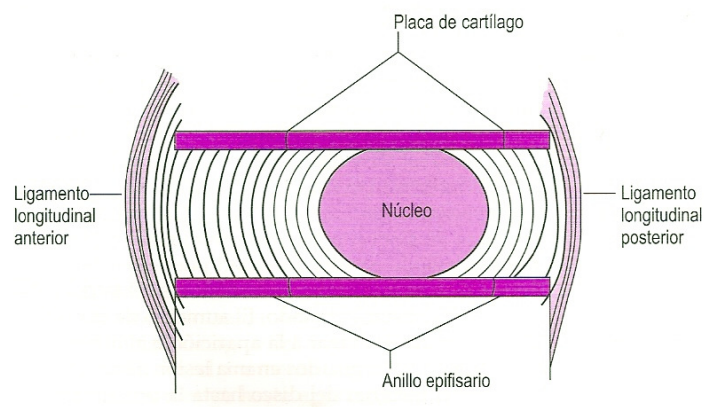


Figura 2.10. Conjunto disco-placa terminal-ligamentos.

Es muy importante conocer la composición química de los elementos del disco intervertebral, pues el comportamiento biomecánico del mismo está estrechamente ligado a sus propiedades físico-químicas, como la presión osmótica y la permeabilidad



hidráulica. El núcleo una sustancia gelatinosa que deriva embriológicamente de la cuerda dorsal del embrión. Se trata de una gelatina transparente, compuesta por un 88% de agua y por tanto muy hidrófila, y formada químicamente por una sustancia fundamental a base de mucopolisacáridos. Se ha identificado en ella sulfato de condroitina mezclado con proteínas, cierto tipo de ácido hialurónico y querato-sulfato. Desde el punto de vista histológico, el núcleo pulposo contiene fibras colágenas y células de aspecto condrocitario, células conjuntas y raras aglomeraciones de células cartilaginosas. No hay vasos ni nervios en el interior del núcleo pulposo, que, sin embargo, está tabicado por tractos fibrosos que parten de la periferia.

El anillo fibroso está conformado por una sucesión de capas fibrosas concéntricas, cuya oblicuidad está cruzada cuando se pasa de una capa a la contigua, tal como se ha representado en la parte izquierda de la figura 2.11. En su parte derecha también puede constatarse que las fibras son verticales en la periferia y que, cuanto más se aproximan al centro, más oblicuas son. En el centro, en contacto con el núcleo pulposo, las fibras son casi horizontales y describen un largo trayecto helicoidal de una meseta a otra. De este modo, el núcleo pulposo se halla encerrado en un compartimento inextensible entre las mesetas vertebrales por arriba y por abajo, y el anillo fibroso. Este anillo fibroso constituye un verdadero tejido de fibras, que en el individuo joven impide cualquier exteriorización de la sustancia del núcleo pulposo.

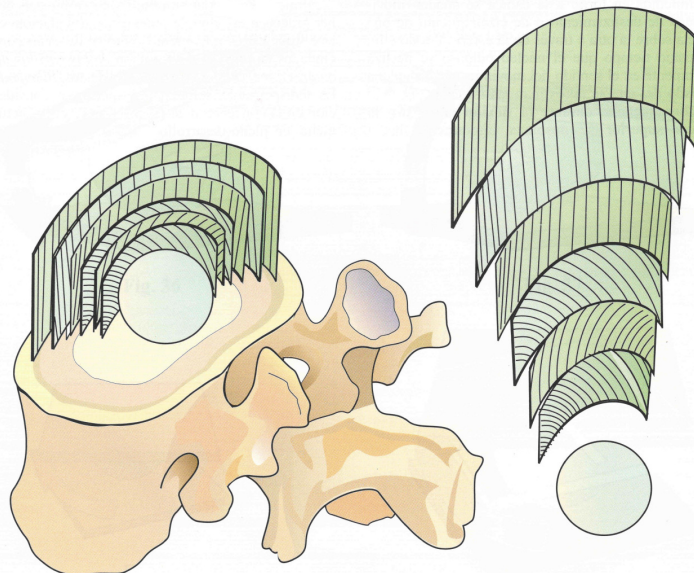


Figura 2.11. Capas concéntricas del anillo fibroso

El agua va a mantener el centro del disco en hiperpresión, que se hincha al máximo de su capacidad, limitada por la puesta en tensión de las fibras del anillo. Si se abre un

disco intervertebral y se deja el núcleo en un vaso de agua, este núcleo va a absorber una cantidad adicional de agua, porque su capacidad hidrofílica se ha liberado. Esto significa que el núcleo nunca está hinchado al máximo en su localización habitual en el centro del disco.

Así, el disco intervertebral está normalmente en tensión a nivel del núcleo con una presión muy importante que equilibra la puesta en tensión de las fibras que constituyen el anillo. Ambos componentes están equilibrados, constituyendo un excelente sistema amortiguador.

El grosor del disco no es el mismo en todos los niveles raquídeos: es en el raquis lumbar donde el disco es más grueso puesto que mide 9 mm de altura; en el raquis torácico, mide 5 mm de espesor; en el raquis cervical, su grosor es de 3 mm.

Pero mucho más importante que su altura absoluta es la noción de proporción del disco en relación a la altura del cuerpo vertebral (Figura 2.12). De hecho, esta proporción da perfecta idea de la movilidad del segmento raquídeo, ya que se constata que cuanto más grande es, más importante es su movilidad. En orden decreciente se puede constatar que: el raquis cervical es el más móvil puesto que posee una relación disco-corpórea de  $2/5$ ; a continuación está el raquis lumbar un poco menos móvil que el cervical y que posee una relación disco-corpórea de  $1/3$ ; por último, el menos móvil de los tres segmentos del raquis es el torácico, su relación disco-corpórea es de  $1/5$ .

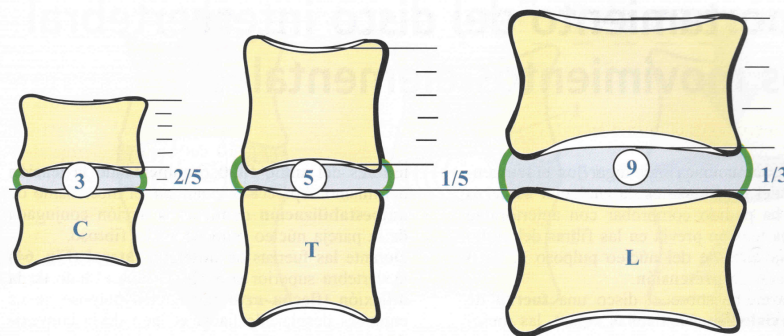


Figura 2.12. Relación cuerpo/disco

En cortes sagitales de los diferentes segmentos del raquis se puede observar que el núcleo pulposos no se localiza exactamente en el centro del disco (Figura 2.13); si se divide el espesor anteroposterior del disco en diez partes iguales el núcleo pulposos se sitúa: en el caso del raquis cervical a  $4/10$  del borde anterior y a  $3/10$  del borde posterior, ocupando él mismo  $3/10$ . Su situación corresponde exactamente al eje de movilidad (flecha azul); en el caso del raquis torácico, la localización del núcleo

pulposos es la misma en relación tanto al borde anterior como al borde posterior del disco. El núcleo pulposos en sí ocupa 3/10, pero su situación en relación al eje de movilidad se desplaza hacia atrás: la flecha en azul que representa el citado eje pasa claramente por delante del núcleo pulposos; en el caso del raquis lumbar, el núcleo pulposos se localiza a 4/10 del borde anterior del disco y a 2/10 del borde posterior, pero él sólo ocupa 4/10, es decir, una superficie mayor que corresponde a fuerzas axiales más importantes. Como en el caso del raquis cervical, su situación corresponde exactamente a la del eje de movilidad (flecha azul).

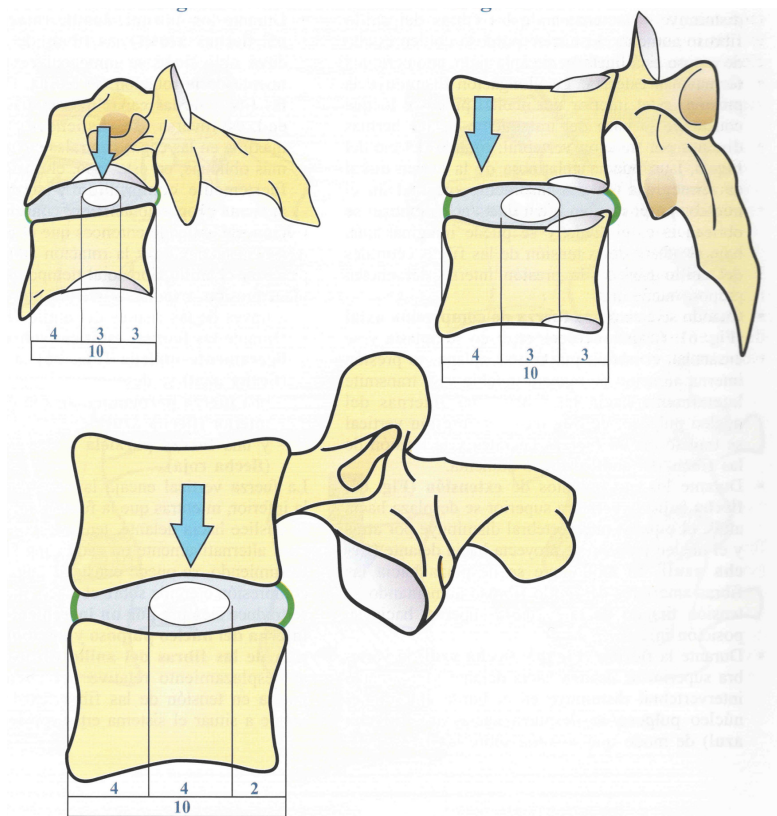


Figura 2.13. Posición del núcleo en las vértebras cervicales, torácicas y lumbares, respectivamente.

## **2.6. Ligamentos y músculos**

Existen numerosos ligamentos que rodean a la columna vertebral y cada uno de ellos desempeña una función diferente e imprescindible para el correcto funcionamiento del raquis (Figura 2.14). Los *ligamentos longitudinales* aumentan la estabilidad de la columna vertebral, especialmente en los movimientos de flexo-extensión. Tienen por tanto dos funciones principales: limitar los movimientos y proteger los discos intervertebrales. El ligamento longitudinal anterior (1) se ensancha en dirección caudal y se une firmemente a los cuerpos de las vértebras pero no a los discos. El ligamento

longitudinal posterior (2) está firmemente unido a los cuerpos pero sólo en sus bordes superior e inferior, de modo que deja libre un espacio para el paso de los vasos vertebrales. Este ligamento se amarra también firmemente a los discos, particularmente en las regiones torácica y lumbar, donde adquiere un aspecto romboideado debido a sus expansiones fibrosas laterales (3) que sujetan los discos intervertebrales (4). Los *ligamentos amarillos* (5) se extienden entre los arcos vertebrales (6). Estos ligamentos incluso en reposo se hallan en tensión y durante la flexión de la columna se hiperextienden, por lo que contribuyen a reponer la columna en posición erecta. Los *ligamentos intertransversos* (7) son cortas bandas ligamentosas que unen verticalmente los procesos transversos. Los *ligamentos interespinosos* (8) son igualmente cortos y unen las apófisis espinosas (9) entre sí. El *ligamento supraespinoso* (10) comienza en la espina de la 7ª cervical y se extiende uniendo las apófisis espinosas, hasta el sacro. *Otros ligamentos*: ligamentos perivertebrales cortos (11), a nivel de la columna torácica y lumbar; ligamento costotransverso superior (12); ligamento costotransverso lateral (13); ligamento radiado de la cabeza de la costilla (14).

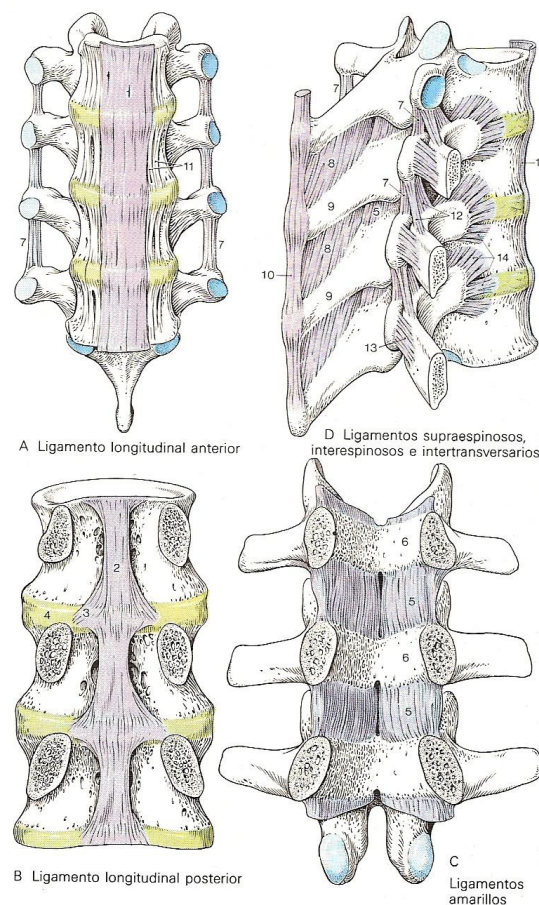


Figura 2.14. Ligamentos de la columna vertebral



La columna vertebral, a través de sus numerosas apófisis óseas, ofrece zonas directas o indirectas de inserción a las estructuras musculares que desempeñan una o más de las siguientes funciones:

- Estabilización segmentaria de la columna vertebral durante el movimiento y la postura normal.
- Producción de movimientos groseros en un elevado número de segmentos.
- Estabilización y movimientos fisiológicos de los miembros en relación con el tronco.

Los músculos cuya función está en relación con la estabilización segmentaria y la postura se sitúan mucho más cerca de la columna vertebral que los músculos que dan lugar a movimientos groseros. En virtud de la longitud de las apófisis vertebrales, los músculos incrementan su capacidad mecánica debido a que pueden utilizar un brazo de palanca mayor. Podemos establecer una analogía entre la estructura de una vértebra y un grifo (Figura 2.15). Esta configuración incrementa el brazo de palanca entre el punto de aplicación de la fuerza y el eje de movimiento, lo que representa una ventaja mecánica sobre las estructuras en las que la fuerza de giro se aplica en la proximidad del eje. En el ser humano, la fuerza se aplica en el punto de inserción muscular y el eje del movimiento se localiza en el interior de la articulación.

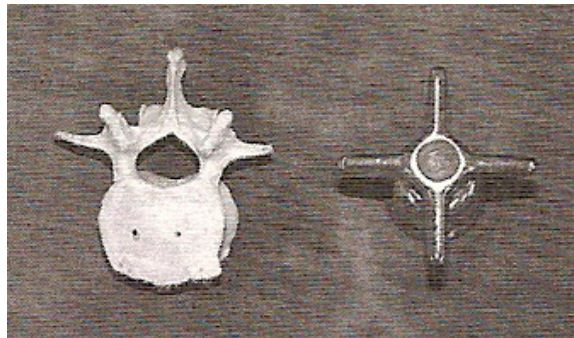


Figura 2.15. Analogía vértebra-grifo.

La musculatura autóctona del dorso se divide en un tracto lateral, superficial y en un tracto medial, profundo. En ambos tractos se distingue un sistema muscular recto y un sistema oblicuo. Una explicación detallada de la función de cada uno de estos músculos se escapa del objetivo de este trabajo, considerándose aquí suficiente el conocimiento de las funciones generales de las estructuras musculares, ya mencionadas con anterioridad. A continuación se presenta una tabla resumen de la musculatura acompañada de unas

figuras (Fig 2.16 y 2.17) donde se representa la ubicación e inserción de cada uno de los músculos.

	<i>Sistema recto</i>	<i>Sistema oblicuo</i>
<i>Tracto lateral (superficial)</i>	Iliocostal (1, 2, 3) Longísimo (4, 5, 6)	Esplenio cervical (11) Esplenio de la cabeza (12)
<i>Tracto medial (profundo)</i>	Interespinosos (1, 2, 3) Intertransversarios (4, 5) Espinal (6, 7)	Rotadores cortos (8) y largos (9) Multífido (10) Semiespinal torácico y cervical (11) Semiespinal de la cabeza (12)

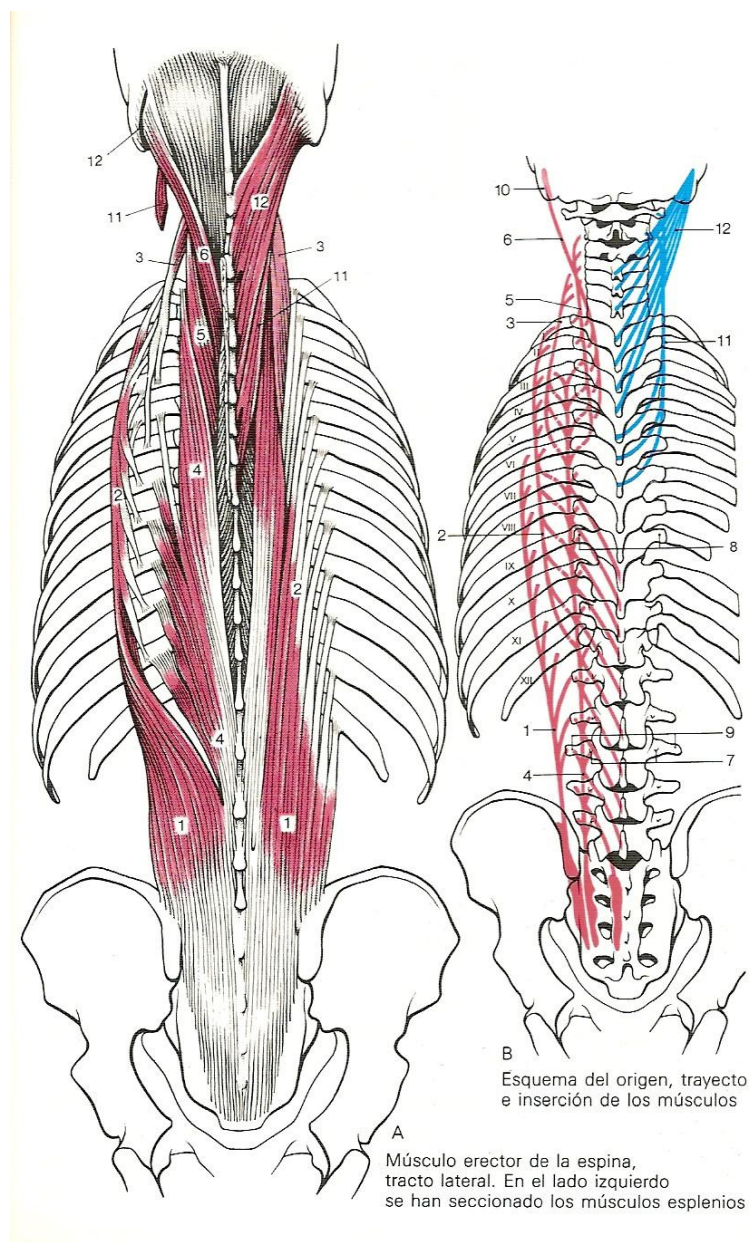
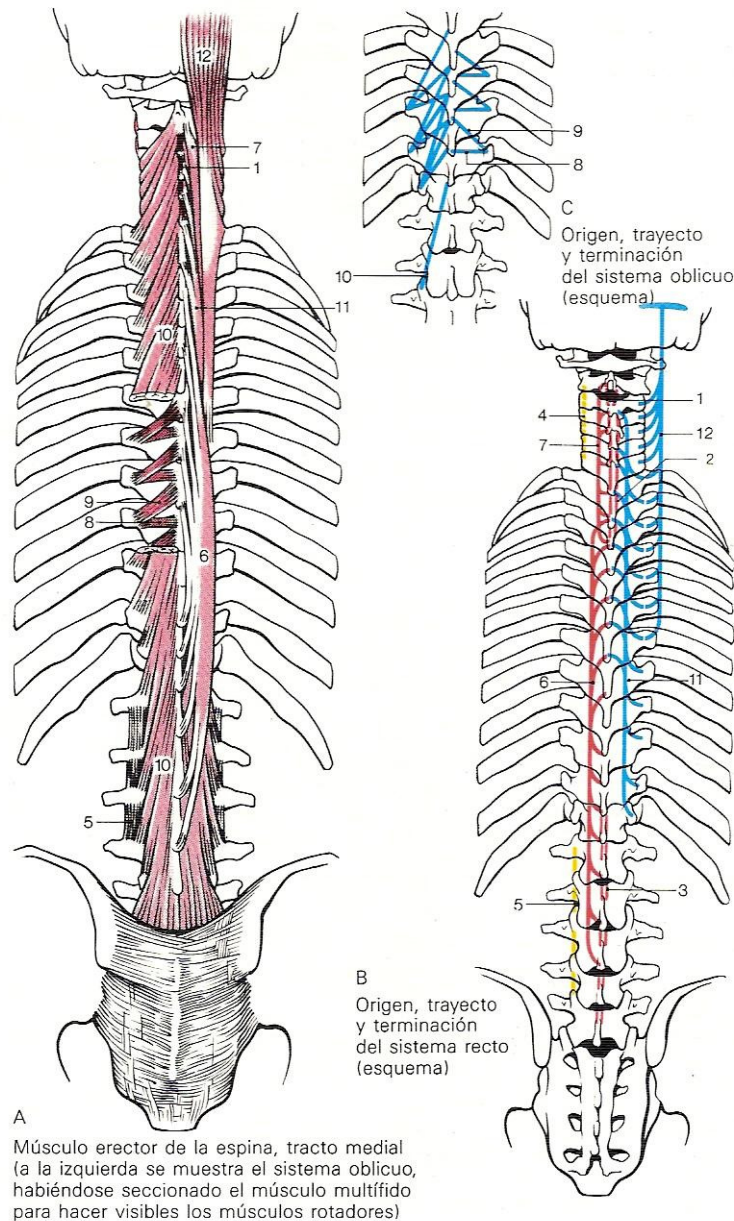


Figura 2.16. Tracto lateral (superficial)



### 2.17. Tracto medial. Profundo

## 2.7. Segmento de movilidad columnar

Desde un punto de vista funcional, se considera que la columna vertebral está constituida por un elevado número de segmentos de movilidad columnares que contribuyen al movimiento global de la columna vertebral. El segmento de movilidad columnares fue definido por Junghans en 1931 como “aquel comprendido entre dos vértebras adyacentes y sus partes blandas”. Comprende el disco intervertebral con las plataformas vertebrales limitantes, las articulaciones cigapofisarias y los



ligamentos longitudinales, amarillos, intertransversos, interespinosos y supraespinosos. Representa la unidad de movimiento de la columna vertebral. En cada segmento móvil el disco y los cuerpos vertebrales absorben la mayor parte de las cargas.

Cada segmento de movilidad columnar presenta seis grados de libertad: rotación y traslación sagitales; rotación y traslación coronales; y rotación y traslación horizontales (Fig. 2.18).

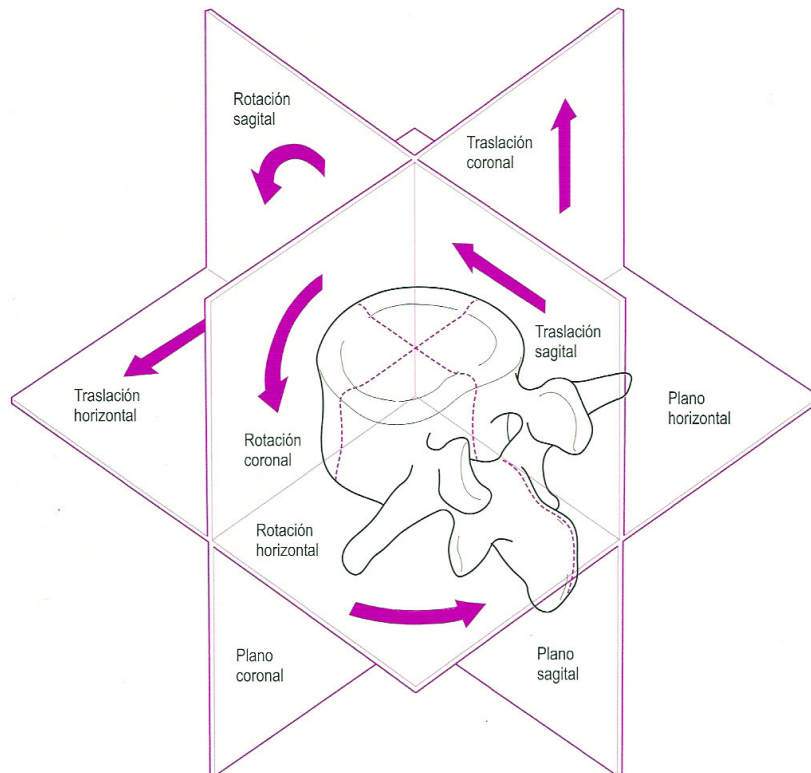


Figura 2.18. Grados de libertad

La flexión (azul. Fig 2.19) consiste en la rotación sagital anterior y la traslación anterior; la extensión (amarillo. Fig 2.19) se lleva a cabo mediante la rotación sagital posterior y la traslación posterior. Las flexo-extensiones tienen lugar primordialmente en las regiones cervical y lumbar.

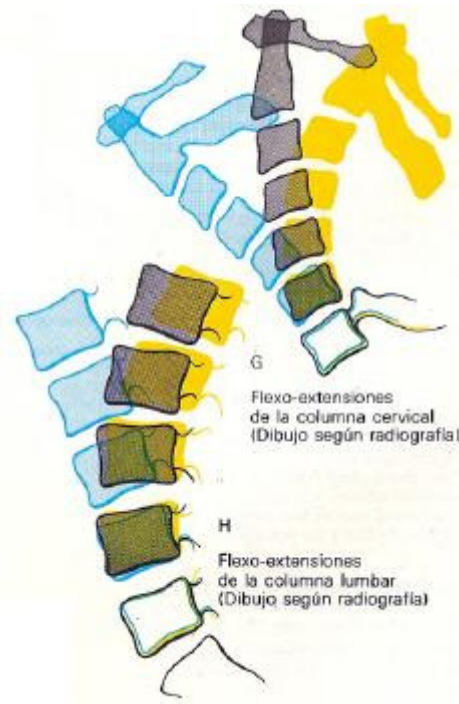


Fig. 2.19. Flexo-extensiones de la columna cervical y lumbar.

En la flexión lateral derecha, la carilla articular inferior izquierda de la vértebra superior se desliza en dirección superior sobre la carilla articular superior de la vértebra inferior; la carilla articular inferior derecha de la vértebra superior se desliza en dirección inferior sobre la carilla articular superior de la vértebra inferior. En la flexión lateral izquierda ocurre el movimiento simétrico al descrito.

El efecto del movimiento sobre la deformación del disco intervertebral está representado en la Figura 2.20. En la extensión (**A**) la vértebra superior se desplaza en dirección posterior, el núcleo pulposo se desplaza en dirección anterior y el anillo fibroso muestra tensión en dirección anterior. En la flexión (**B**) la vértebra superior se desplaza en dirección anterior, el núcleo pulposo se desplaza en dirección posterior y el anillo fibroso muestra tensión en dirección anterior. En la flexión lateral (**C**) la vértebra superior se inclina hacia el lado de la flexión, el núcleo pulposo se desplaza en la dirección opuesta y el anillo fibroso presenta tensión en la dirección opuesta.

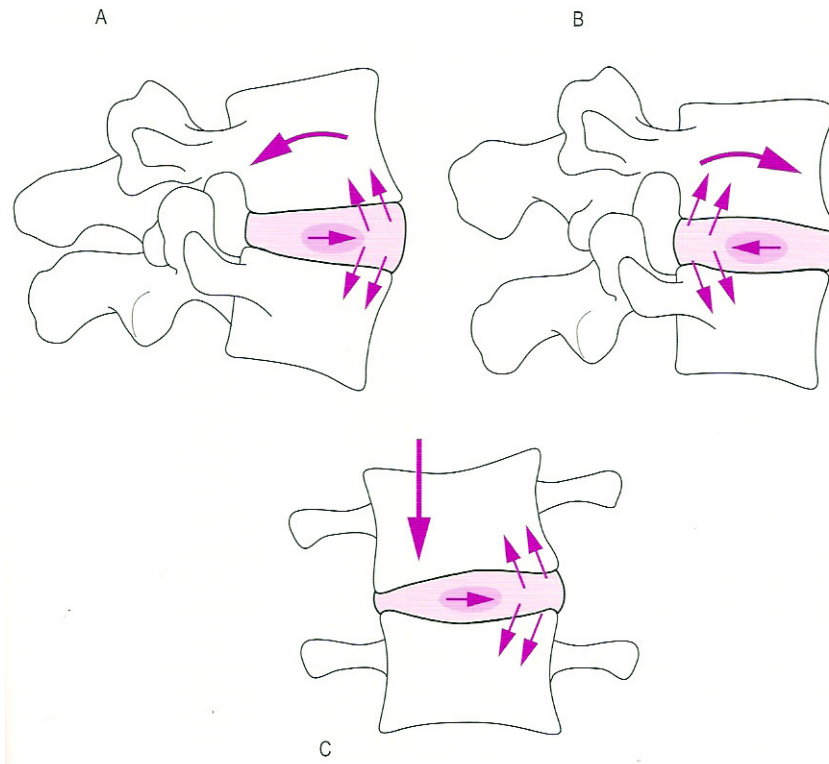


Fig 2.20. Movimientos de A) extensión B) Flexión C) Flexión lateral