

1

# Introducción a la Anatomía

## Clínica

### *Enfoques del estudio de la anatomía 2*

Sistemas del cuerpo 2  
Variaciones anatómicas 3

### *Terminología anatómica y médica 4*

Posición anatómica 4  
Planos anatómicos 4  
Términos de relación y de comparación 5  
Términos de lateralidad 5  
Términos de movimiento 5

### *El sistema de los tegumentos 5*

### *El sistema esquelético 10*

Los huesos 10  
Las articulaciones 17

### *El sistema muscular 20*

El músculo esquelético 20

**F** El músculo cardíaco 25  
El músculo liso 25

### *El sistema cardiovascular 26*

Las arterias 26  
Las venas 31  
Los capilares 31

### *El sistema linfático 32*

### *El sistema nervioso 32*

El sistema nervioso central 34  
El sistema nervioso periférico 37

### *Las técnicas de imágenes médicas 48*

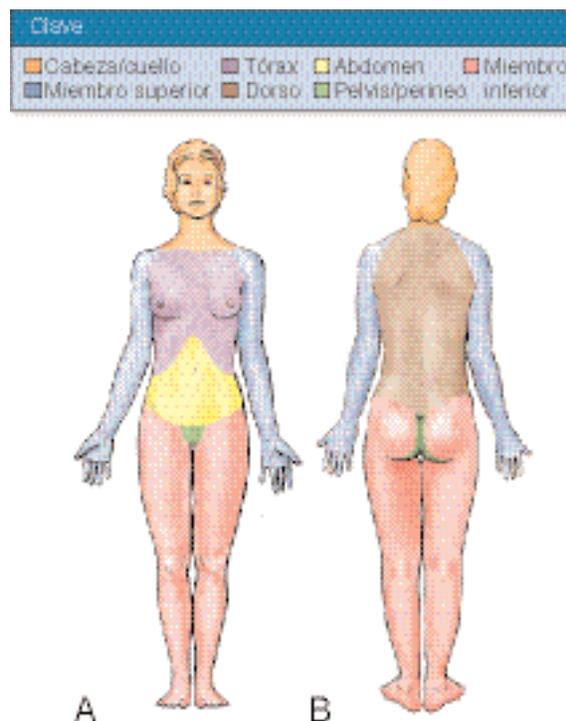
La radiografía convencional 48  
La tomografía computarizada 48  
La ecografía 48

## La resonancia magnética 50

*fundamentos de anatomía* relaciona la estructura y la función del cuerpo con lo que habitualmente se requiere en la práctica general de la medicina, la odontología y las ciencias auxiliares de la salud. Dado que la gran cantidad de detalles de la anatomía abruma a muchos estudiantes que empiezan, *Fundamentos de anatomía* simplifica, correlaciona e integra la información de modo que pueda lograrse el conocimiento. Los *recuadros de correlación clínica* (recuadros celestes) ilustran las aplicaciones clínicas de la anatomía.

### ENFOQUES DEL ESTUDIO DE LA ANATOMÍA

Existen tres enfoques para el estudio de la anatomía: anatomía sistémica, anatomía regional y anatomía de superficie.



**FIGURA 1-1. Regiones del cuerpo.** A. Vista anterior. B. Vista posterior. Todas las descripciones anatómicas se basan sobre la presunción de que la persona se encuentra de pie en la

- La **anatomía sistémica** es un enfoque del estudio anatómico organizado por *sistemas orgánicos*, como el sistema cardiovascular, que destaca los aspectos generales del sistema en todo el cuerpo.
- La **anatomía regional** es un enfoque del estudio anatómico basado sobre regiones, partes o divisiones del cuerpo, como el abdomen, que destaca las relaciones de varias estructuras sistémicas (p. ej., músculos, nervios y arterias) dentro de la región, la parte o la división del cuerpo (Fig. 1-1).
- La **anatomía clínica** es un enfoque del estudio anatómico basado sobre regiones, sistemas o ambos, que destaca la aplicación práctica del conocimiento anatómico a la solución de problemas clínicos y/o la aplicación de observaciones clínicas para aumentar el conocimiento anatómico.

La **anatomía de superficie** –el estudio del cuerpo vivo en reposo y en acción– se utiliza en los tres enfoques principales para el estudio de la anatomía. La anatomía de superficie describe la configuración de la superficie del cuerpo, sobre todo su relación con las partes más profundas como huesos y músculos. *El examen físico de los pacientes es una extensión clínica de la anatomía de superficie.* Uno de los principales objetivos de la anatomía de superficie es la visualización de estructuras ubicadas debajo de la piel. Por ejemplo, en personas que presentan heridas cortantes, el médico debe visualizar las estructuras profundas que podrían estar lesionadas.

## SISTEMAS DEL CUERPO

En este capítulo introductorio se utiliza el enfoque sistémico para el estudio de la anatomía de superficie. En los capítulos siguientes se utilizan los enfoques clínico y regional para el estudio de la anatomía porque las disecciones y los procedimientos quirúrgicos se realizan región por región y no sistema por sistema. A continuación se realizan descripciones breves de los sistemas del cuerpo y sus ramas de estudio (entre paréntesis):

- El **sistema de los tegumentos** (dermatología) consiste en la piel (tegumento) y sus anexos como el pelo y las uñas. La piel, órgano sen-

sitivo extenso, forma una cubierta protectora para el cuerpo.

- El **sistema esquelético** (osteología) consiste en los huesos y el cartílago. Proporciona soporte al cuerpo y protege los órganos vitales; por ejemplo, las costillas y el esternón protegen el corazón y los pulmones. El sistema muscular actúa sobre el sistema esquelético para producir movimiento.
- El **sistema articular** (artrología) consiste en las articulaciones y sus ligamentos asociados. Conecta las partes óseas del sistema esquelético y proporciona los sitios en los cuales ocurren los movimientos. Así, gran parte de los sistemas esquelético, articular y muscular constituyen el *sistema locomotor*. Estos sistemas funcionan en conjunto para producir la *locomoción*: los cambios en la postura o la posición y el movimiento de un lugar a otro. Las estructuras involucradas en la locomoción son los músculos, los huesos, las articulaciones y los ligamentos, así como las arterias, las venas y los nervios que les aportan oxígeno y nutrientes, eliminan sus desechos y estimulan su acción.
- El **sistema muscular** (miología) está compuesto por los músculos que se contraen para mover partes del cuerpo, sobre todo los huesos que se articulan en las uniones.
- El **sistema nervioso** (neurología) consiste en el *sistema nervioso central* (encéfalo y médula espinal) y el *sistema nervioso periférico* (nervios craneanos y espinales, junto con sus terminaciones motoras y sensitivas). *El sistema nervioso responde al medio ambiente y a las condiciones internas* y estimula la respuesta apropiada. También controla y coordina las funciones de los distintos sistemas.
- El **sistema circulatorio** (angiología) consiste en los sistemas cardiovascular y linfático, que funcionan en paralelo para distribuir líquidos dentro del cuerpo. El **sistema cardiovascular** se compone del corazón y de los vasos sanguíneos que impulsan y conducen la sangre a través del cuerpo. El **sistema linfático** es una red de vasos linfáticos que extrae el exceso de líquido extracelular (linfa) del compartimiento de líquido intersticial (intercelular) del cuerpo, lo filtra a través de los ganglios linfáticos y lo retorna al torrente sanguíneo.

- El **sistema alimentario** o sistema digestivo (gastroenterología) está compuesto por los órganos asociados con la ingestión, la masticación, la deglución, la digestión, la absorción de nutrientes y la eliminación de desechos sólidos en forma de heces (deposiciones).
- El **sistema respiratorio** (neumonología) consiste en los conductos para el paso de aire y los pulmones que aportan oxígeno y eliminan dióxido de carbono.
- El **sistema urinario** (urología) consiste en los riñones, los uréteres, la vejiga y la uretra, los cuales, respectivamente, producen, transportan, almacenan y excretan intermitentemente desechos líquidos (orina). Los riñones también regulan el equilibrio ácido-base y de los líquidos.
- El **sistema reproductor** (ginecología y andrología) consiste en los órganos genitales, como los ovarios y los testículos, que están relacionados con la reproducción.
- El **sistema endocrino** (endocrinología) consiste en las glándulas sin conductos, como la glándula tiroides, que producen hormonas que son distribuidas por el sistema circulatorio a todas las partes del cuerpo para alcanzar los órganos receptores. Las glándulas endocrinas influyen en el metabolismo y coordinan y regulan otros procesos corporales, incluso los asociados con el ciclo menstrual o los acontecimientos del embarazo.

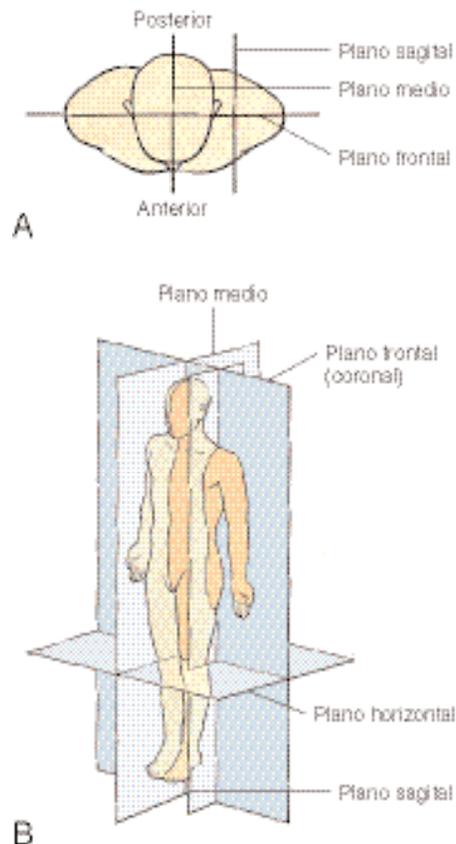
## VARIACIONES ANATÓMICAS

Si bien los libros de anatomía describen la estructura del cuerpo que se observa en la mayoría de las personas, la estructura de las diferentes personas varía considerablemente en sus detalles. Los estudiantes a menudo se sienten frustrados porque los cuerpos que están examinando o diseccionando no son conformes al atlas o el libro de texto que utilizan. Los estudiantes deben esperar hallar variaciones anatómicas cuando diseccionan o estudian piezas preparadas. *Hay una gama normal de variaciones étnicas y raciales*; no son defectos de nacimiento. Los huesos del esqueleto varían entre ellos, no sólo en su forma básica sino también en detalles menores de la estructura de superficie. También existe una variación amplia en el tamaño, la configuración y la forma de fijación de los músculos. Asimismo, hay va-

riación en el método de división de los vasos y los nervios y la mayor variación ocurre en las venas, seguida por las arterias y los nervios. La frecuencia de las variaciones a menudo difiere entre los distintos grupos humanos. Las *anomalías congénitas* (defectos de nacimiento) son causadas por factores genéticos como las anomalías cromosómicas o por factores ambientales como los fármacos o los virus (Moore y Persaud, 1998; Moore y col., 2000).

## TERMINOLOGÍA ANATÓMICA Y MÉDICA

*La anatomía tiene un vocabulario internacional que es el fundamento de la terminología médica.* Es importante que los médicos, los odontólogos y otros profesionales de asistencia de la salud de



**FIGURA 1-2.** Planos del cuerpo. **A.** Vista superior. **B.** Vista anterolateral. Las descripciones anatómicas se basan sobre cuatro planos que atraviesan el cuerpo en la posi-

todo el mundo utilicen los mismos términos. Aunque no se utilizan *epónimos* (nombres de estructuras derivados de nombres de personas) en la terminología anatómica oficial, los nombres utilizados comúnmente por los médicos aparecen entre paréntesis en todo este libro para ayudar a reducir la ambigüedad y la confusión. Asimismo, los nombres que se utilizaban anteriormente aparecen entre paréntesis en la primera mención; por ejemplo, arteria torácica interna (arteria mamaria interna). La terminología de este libro se ajusta a la *Terminología Anatómica: International Anatomical Terminology* (1998).

### POSICIÓN ANATÓMICA

Todas las descripciones anatómicas se expresan en relación con la posición anatómica (Fig. 1-1) para asegurar que las descripciones no sean ambiguas. La posición anatómica se refiere a las personas –independientemente de la posición real en la que puedan estar– como si estuvieran en bipedestación erecta, con:

- La cabeza, los ojos y los dedos del pie dirigidos anteriormente (hacia adelante).
- Los miembros superiores a los costados con las palmas mirando anteriormente.
- Los miembros inferiores unidos con los pies dirigidos hacia adelante.

### PLANOS ANATÓMICOS

Las descripciones anatómicas se basan sobre cuatro planos anatómicos que atraviesan el cuerpo en la posición anatómica (Figura. 1-2). Existen muchos planos sagitales, frontales y transversos, pero sólo un plano medio.

El uso principal de los planos anatómicos es describir cortes e imágenes del cuerpo.

- El **plano medio** (plano sagital medio) es el plano vertical que pasa longitudinalmente a través del centro del cuerpo, dividiéndolo en las mitades derecha e izquierda.
- Los **planos sagitales** son planos verticales que pasan por el cuerpo, paralelos al plano medio. Es útil dar un punto de referencia que indique su posición, como un plano sagital a través del punto medio de la clavícula.
- Los **planos frontales** (planos coronales) son planos verticales que pasan por el cuerpo per-

pendiculares (*en ángulo recto*) al plano medio, dividiéndolo en las porciones anterior (frontal) y posterior (dorsal).

- Los **planos horizontales** (planos transversales) son planos que pasan por el cuerpo perpendiculares a los planos medio y frontal. Un plano horizontal divide el cuerpo en las partes superior e inferior. Es útil dar un punto de referencia que indique su nivel, como un plano horizontal a través del ombligo. Los radiólogos se refieren a los planos horizontales como *planos transaxiales* o simplemente planos axiales que son perpendiculares al eje mayor del cuerpo y los miembros.

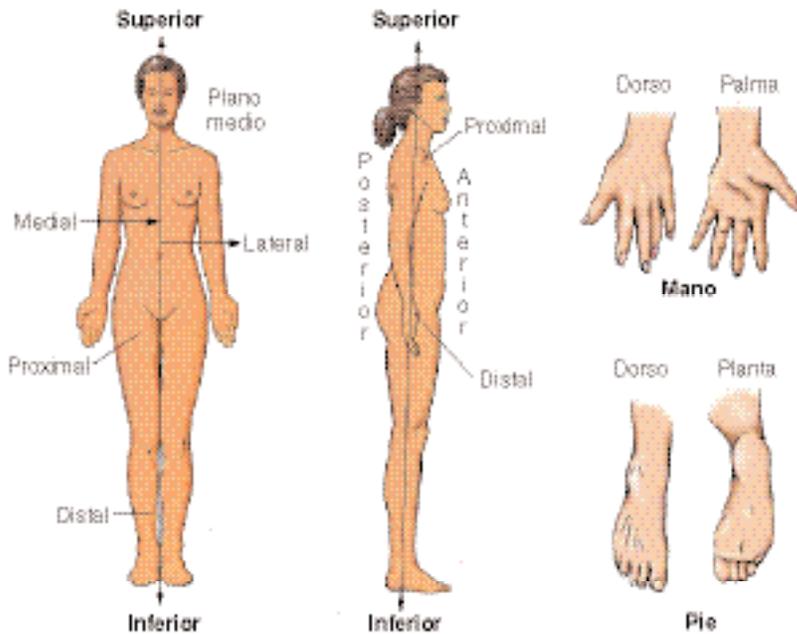
### TÉRMINOS DE RELACIÓN Y DE COMPARACIÓN

Se utilizan diversos adjetivos, que se explican e ilustran en el cuadro 1-1 y que están dispuestos como pares de opuestos (como superior e inferior), para describir la relación entre las distintas partes del cuerpo en posición anatómica por comparación de la posición relativa de dos estructuras entre sí, una sola estructura con respecto a la superficie o la línea media o una estructura con los “extremos” del cuerpo y sus extensiones (nariz o frente, y puntas de los dedos de las manos y los pies). Por ejemplo, los ojos son superiores a la nariz, mientras que la nariz es inferior a los ojos.

Los **términos combinados** describen disposiciones de posición intermedia. Por ejemplo:

- *Inferomedial* significa más cerca de los pies y más próximo al plano medio; por ejemplo, las porciones anteriores de las costillas discurren inferomedialmente.
- *Superolateral* significa más cerca de la cabeza y más alejado del plano medio.

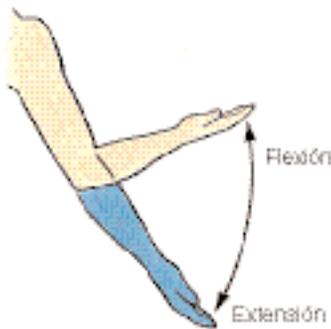
**Proximal** y **distal** son términos direccionales que se utilizan cuando se describen posiciones, por ejemplo, si las estructuras están más cerca del tronco o punto de origen (es decir, proximal). **Dorso** se refiere a la superficie superior o dorsal (dorso) de cualquier parte que protruye hacia adelante desde el cuerpo, como *el dorso del pie o de la mano*. Es más fácil comprender por qué estas superficies se consideran dorsales si se piensa en un animal plantígrado que camina sobre sus plantas, como un perro. La **planta**

**CUADRO 1-1. TÉRMINOS DE RELACIÓN Y COMPARACIÓN DE USO COMÚN**

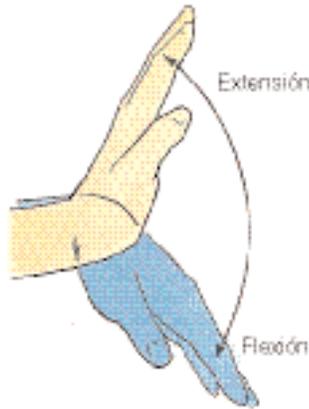
Término	Significado	Ejemplo de uso
<b>Superior (craneal)</b>	Más cerca de la cabeza	El corazón es superior al estómago
<b>Inferior (caudal)</b>	Más cerca de los pies	El estómago es inferior al corazón
<b>Anterior (ventral)</b>	Más cerca de la cara ventral	El esternón es anterior al corazón
<b>Posterior (dorsal)</b>	Más cerca del dorso	Los riñones son posteriores al intestino
<b>Medial</b>	Más cerca del plano medio	El quinto dedo (meñique) se encuentra en la cara medial de la mano
<b>Lateral</b>	Más alejado del plano medio	El primer dedo (pulgar) se encuentra en la cara lateral de la mano
<b>Proximal</b>	Más cerca del tronco o punto de origen (p. ej., de un miembro)	El codo es proximal a la muñeca, y la porción proximal de una arteria se encuentra en su inicio
<b>Distal</b>	Más alejado del tronco o punto de origen (p. ej., de un miembro)	La muñeca es distal al codo y la porción distal del miembro inferior es el pie
<b>Superficial</b>	Más cerca de la superficie o sobre ella	Los músculos del brazo son superficiales a su hueso (húmero)
<b>Dorso</b>	Más alejado de la superficie	El húmero se encuentra en la profundidad de los músculos del brazo
<b>Palma</b>	Superficie dorsal de la mano o el pie	Las venas son visibles en el dorso de la mano
<b>Planta</b>		

**CUADRO 1-2. TÉRMINOS DE MOVIMIENTO**

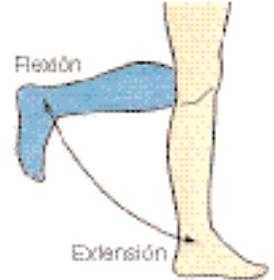
**Flexión** significa inclinación de una parte o disminución del ángulo entre distintas partes del cuerpo. **Extensión** significa enderezamiento de una parte o aumento del ángulo entre dis-



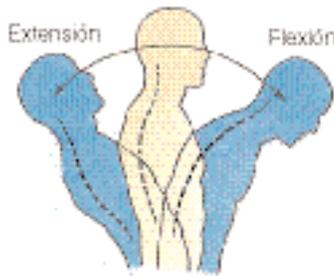
Flexión y extensión del antebrazo en la articulación del codo



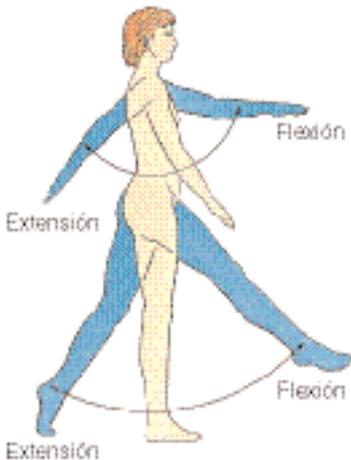
Flexión y extensión de la mano en la articulación de la muñeca



Flexión y extensión de la pierna en la articulación de la rodilla



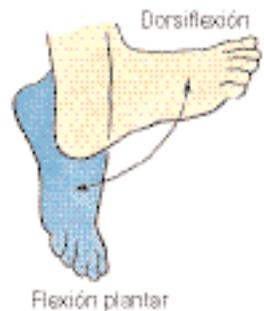
Flexión y extensión de la columna vertebral en las articulaciones intervertebrales



Flexión y extensión del miembro superior en la articulación del hombro y del miembro inferior en la articulación de la cadera



Flexión y extensión de los dedos de la mano en las articulaciones interfalángicas

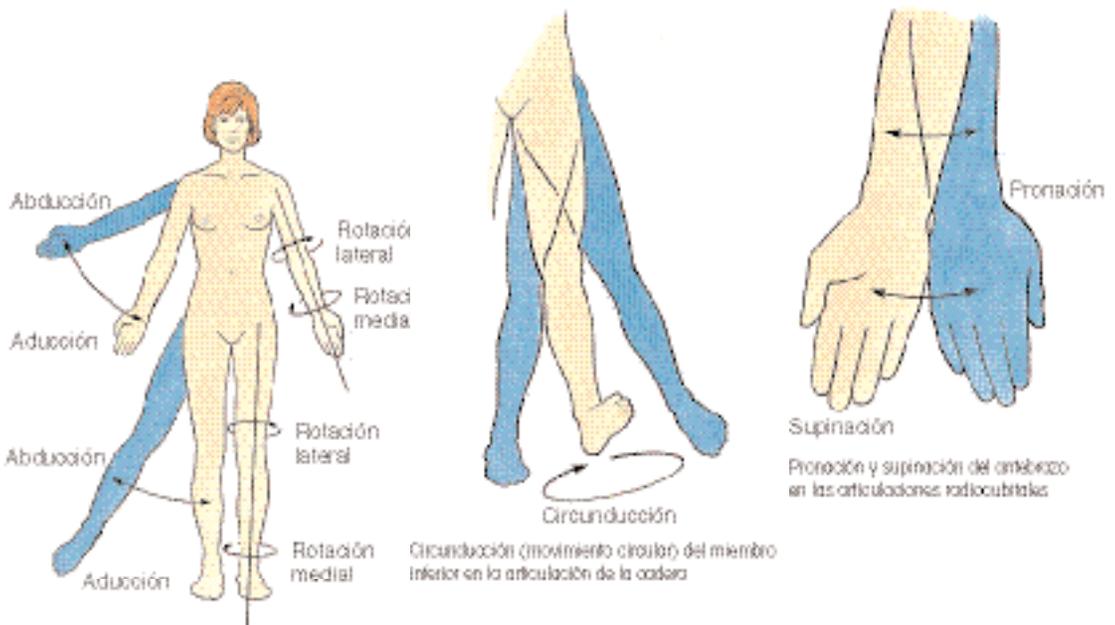


Dorsiflexión y flexión plantar del pie en la articulación del tobillo

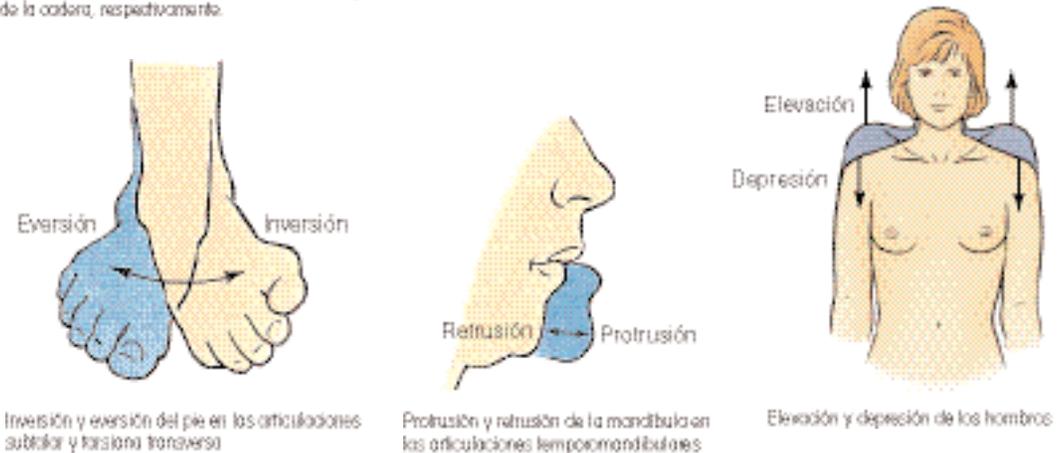
*Continúa*

**CUADRO 1-2. CONTINUACIÓN**

**Abducción** significa alejamiento del plano medio del cuerpo en el plano frontal. **Aducción** significa acercamiento al plano medio del cuerpo en el plano coronal. En los dedos (de las manos y los pies), abducción significa separación y aducción es aproximación. **Rotación** significa movimiento de una parte del cuerpo alrededor del eje longitudinal. La *rotación medial* lleva la superficie anterior medialmente y la *rotación lateral* lleva esta superficie lateralmente. **Circunducción** es el movimiento circular de los miembros, o partes de ellos, que combina en secuencia los movimientos de flexión, extensión, abducción y aducción. **Pronación** es una rotación medial del antebrazo y la mano de modo que la palma mira hacia atrás. **Supinación** es una rotación lateral del antebrazo y la mano de modo que la palma mira hacia delante, como en la posición anatómica. **Eversión** significa movimiento de la planta del pie hacia afuera. **Inversión** significa movimiento de la planta del pie hacia adentro. **Protrusión** (protracción) significa movimiento de la mandíbula hacia adelante. **Retrusión** (retracción) significa



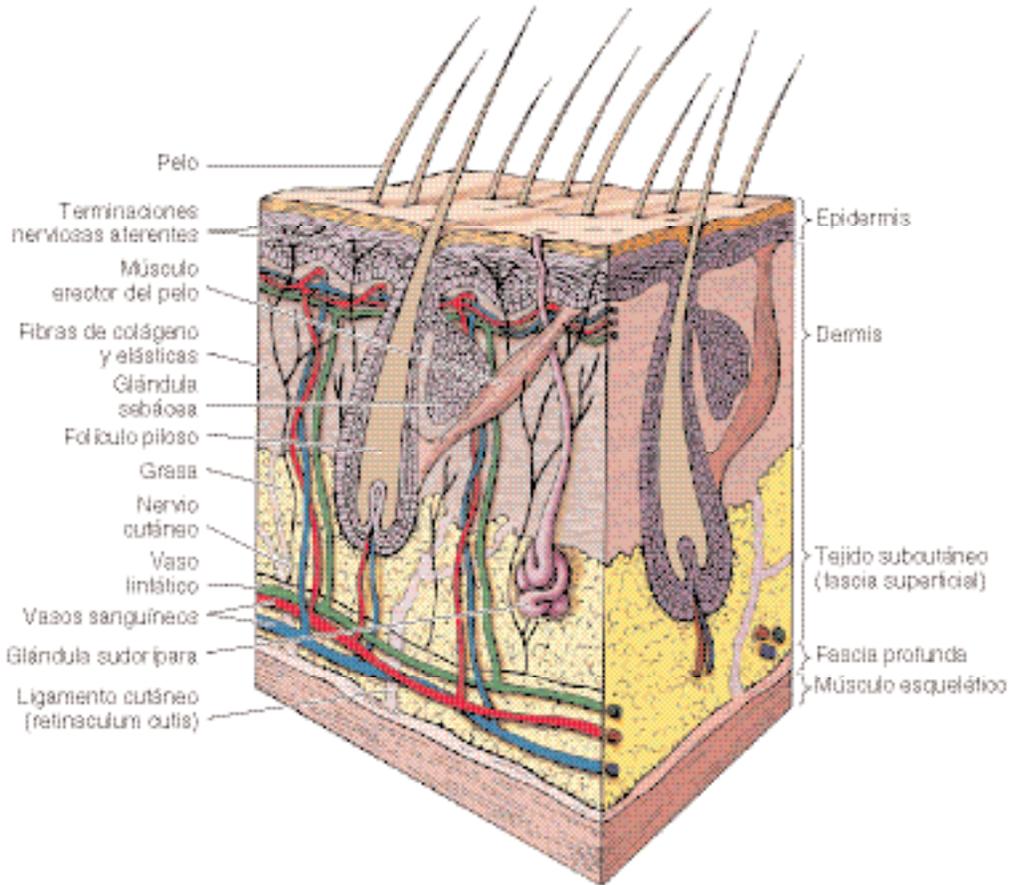
Abducción y aducción de los miembros derechos y rotación de los miembros izquierdos en las articulaciones glenohumeral y de la cadera, respectivamente.



Inversión y eversión del pie en las articulaciones subtalar y tarsiana transversa

Protrusión y retrusión de la mandíbula en las articulaciones temporomandibulares

Elevación y depresión de los hombros



**FIGURA 1-3. Estructura de la piel y el tejido subcutáneo.** Obsérvese la disposición en capas de la piel y los pelos y las glándulas introducidos en la piel y el tejido subcutáneo.

indica la cara inferior o la parte inferior del pie, gran parte de la cual se encuentra en contacto con el suelo en posición erecta con los pies desnudos. La **palma** se refiere a la porción plana de la mano, con exclusión del pulgar y los dedos, y es lo opuesto del dorso de la mano.

### TÉRMINOS DE LATERALIDAD

Las estructuras pares que tienen miembros derecho e izquierdo, como los riñones, son **bilaterales**, mientras que las que se presentan sólo en un lado son **unilaterales** (p. ej., el bazo). **Homolateral** significa que se presenta del mismo lado del cuerpo; por ejemplo, el pulgar derecho y el primer dedo del pie derecho son homolaterales. **Contralateral** significa que se presenta

del lado opuesto del cuerpo; la mano derecha es contralateral a la mano izquierda.

### TÉRMINOS DE MOVIMIENTO

Distintos términos (como *flexión* y *extensión*) describen los movimientos de las extremidades y otras partes del cuerpo (Cuadro 1-2). Los movimientos tienen lugar en las articulaciones donde dos o más huesos se articulan entre sí. Se describen como pares de opuestos (p. ej., abducción y aducción).

### SISTEMA DE LOS TEGUMENTOS

La piel, el órgano más grande del cuerpo, consiste en una capa celular superficial, la **epider-**

**mis** y una capa profunda de tejido conectivo, la **dermis** (Fig. 1-3). *La piel proporciona:*

- **Protección al cuerpo de la lesión**, de la pérdida de líquidos (p. ej., en quemaduras menores) y de microorganismos invasores
- **Regulación del calor** a través de las glándulas sudoríparas y los vasos sanguíneos.
- **Sensibilidad** (p. ej., dolor) a través de los nervios superficiales y sus terminaciones sensitivas.

La **capa profunda de la dermis** está formada por una capa densa de *fibras de colágeno y elásticas* que se entrelazan. Estas fibras proporcionan el tono cutáneo y son responsables de la fuerza y la resistencia de la piel. La capa profunda de la dermis también contiene folículos pilosos, con sus músculos erectores (erectores del pelo) lisos y sus glándulas sebáceas. La contracción de los *músculos erectores* produce erección de los pelos, lo cual causa “piel de gallina”.

El **tejido subcutáneo** (fascia superficial, hipodermis) está compuesto por tejido conectivo laxo y grasa. Localizado entre la dermis y la aponeurosis profunda subyacente, el tejido subcutáneo contiene las partes más profundas de las glándulas sudoríparas, los vasos sanguíneos y linfáticos y los nervios cutáneos que se distribuyen en la piel. La **fascia profunda** es una capa de tejido conectivo organizado denso que recubre las estructuras profundas como los músculos y los haces neurovasculares. Los **ligamentos cutáneos** (L. retinacula cutis) –numerosas bandas fibrosas pequeñas– se extienden a través del tejido subcutáneo y fijan la superficie profunda de la dermis a la fascia profunda subyacente. Estos ligamentos determinan la movilidad de la piel sobre las estructuras profundas.

#### INCISIONES Y HERIDAS CUTÁNEAS

Las líneas de tensión (líneas de clivaje o de Langer) en la piel la mantienen bajo tensión. Cuando las fibras de colágeno de la dermis se interrumpen por una incisión, la herida se abre. Los cirujanos realizan las incisiones paralelas a las líneas de tensión siempre que sea posible. Por lo general, las incisiones cutáneas a lo largo de estas líneas curan bien con formación de una cicatriz mínima porque las líneas de fuerza traccionan en conjunto las superficies de corte. Una incisión

#### Continúa

a través de una línea de tensión interrumpe y altera las fibras de colágeno y puede producir cicatrices excesivas. Las heridas cortantes en la piel producidas con un picahielo, por ejemplo, suelen ser hendiduras en lugar de redondeadas porque el picahielo separa las fibras de colágeno de la dermis y permite que la herida se abra.

#### Marcas de estiramiento en la piel

Las fibras de colágeno y elásticas de la dermis forman una malla resistente y flexible de tejido. La piel puede distenderse considerablemente cuando el abdomen aumenta de tamaño durante el embarazo, por ejemplo. Sin embargo, si se estira demasiado, pueden dañarse las fibras de colágeno de la dermis. Las bandas de piel delgadas y arrugadas, inicialmente rojas, se tornan violáceas y más tarde blancas. Las marcas de estiramiento aparecen sobre el abdomen, las nalgas, los muslos y las mamas. Estas marcas también se forman en los individuos obesos y generalmente desaparecen después del embarazo y de la pérdida de peso.

#### Quemaduras

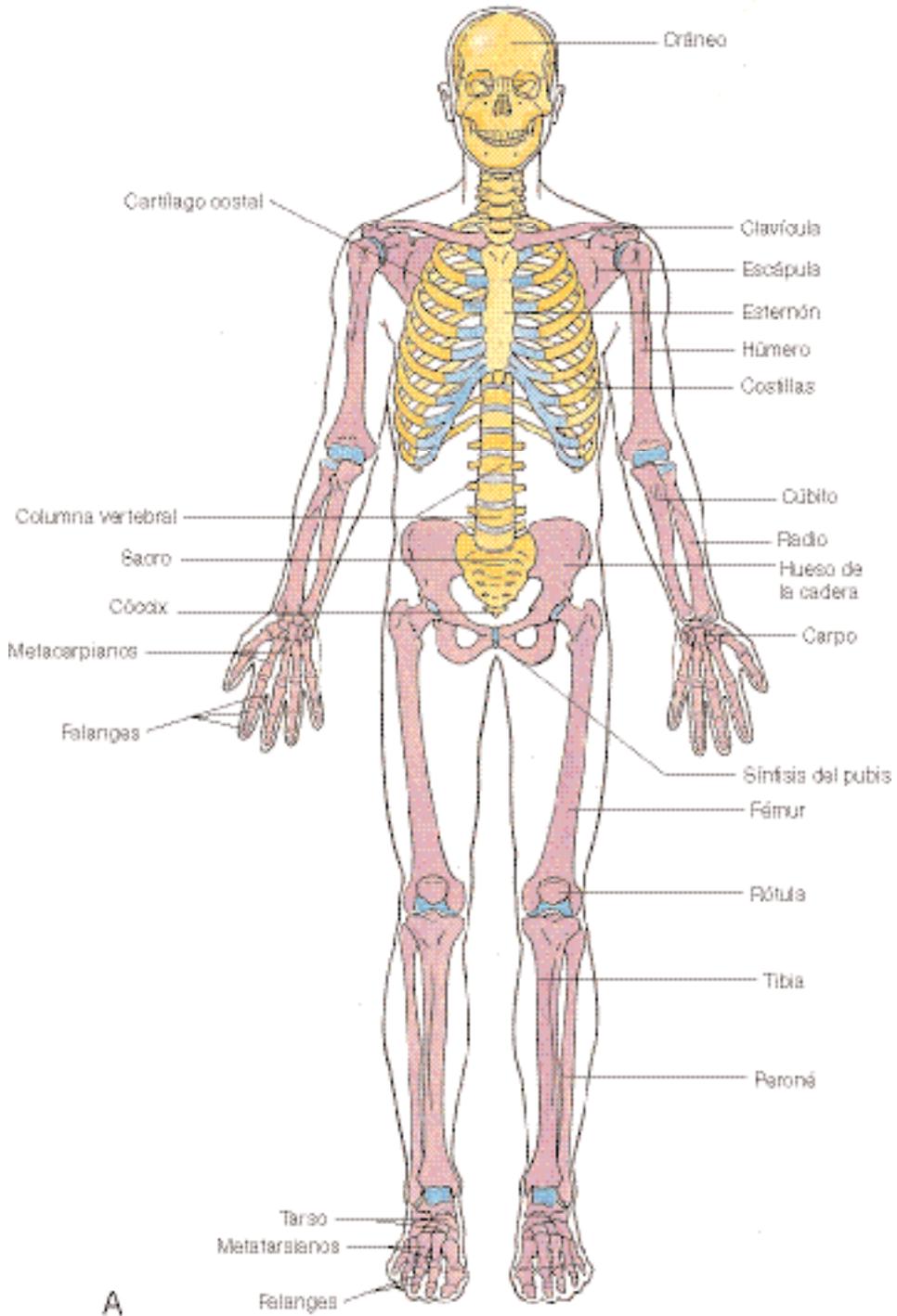
Las quemaduras son lesiones tisulares causadas por agentes térmicos, eléctricos, radiactivos o químicos.

- En las *quemaduras de primer grado* el daño está limitado a la parte superficial de la epidermis.
- En las *quemaduras de segundo grado* el daño se extiende a través de la epidermis hacia la parte superficial de la dermis. Sin embargo, las glándulas sudoríparas y los folículos pilosos no son dañados.
- En las *quemaduras de tercer grado* se destruye la totalidad de la epidermis y la dermis. Se produce una pérdida de plasma sanguíneo por exudación desde el sitio de la quemadura. En estos casos es necesario un autoinjerto cutáneo para lograr la cicatrización de la piel.

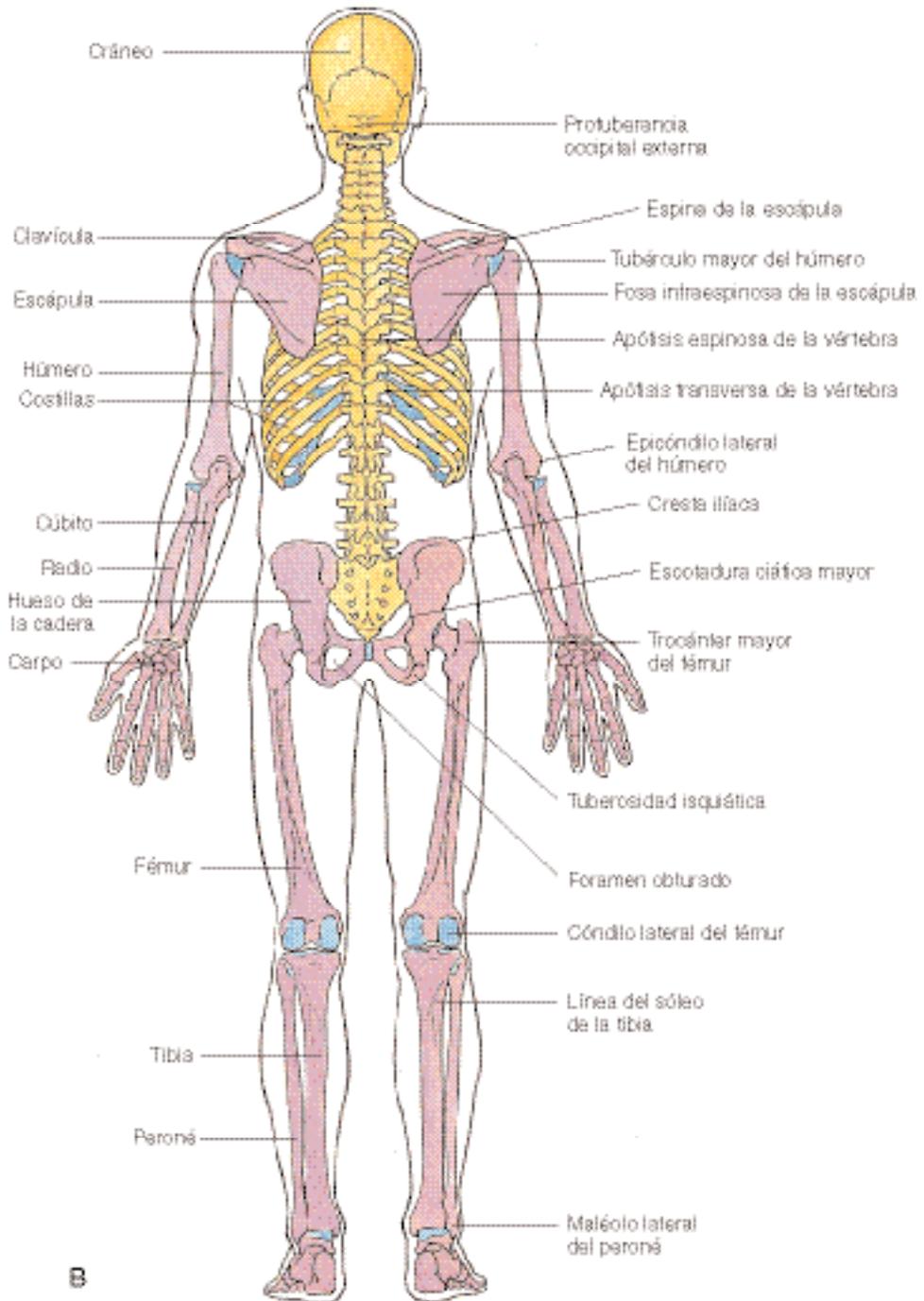
## SISTEMA ESQUELÉTICO

El esqueleto del cuerpo está compuesto por huesos y cartílagos (Fig. 1-4). El **hueso** –*un tejido vivo*– es una forma dura y altamente especializada de tejido conectivo que forma la mayor parte del esqueleto y es el principal tejido de sostén del cuerpo. *El hueso proporciona:*

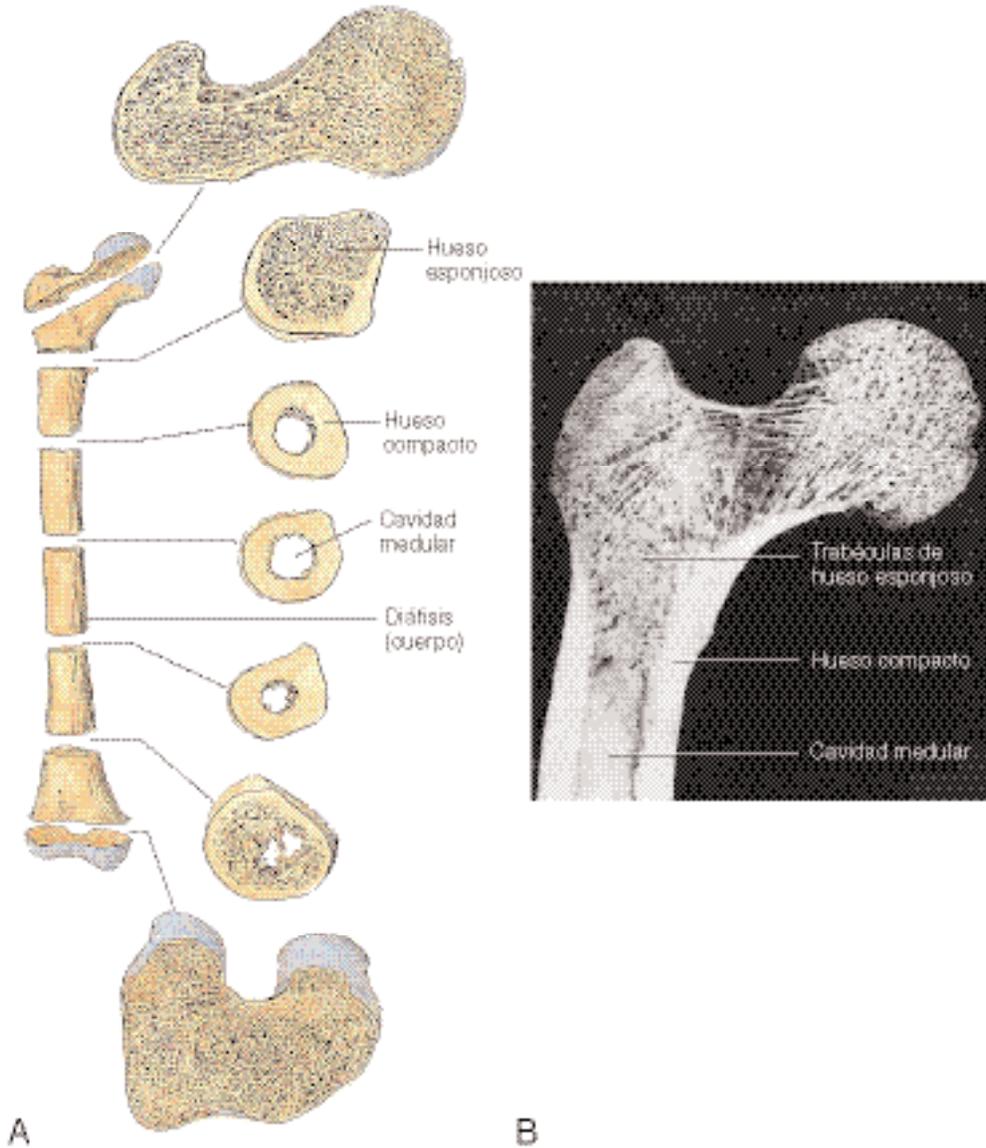
- **Protección** a las estructuras vitales.
- **Soporte** para el cuerpo.
- **La base mecánica** para el movimiento.
- **Almacenamiento** para las sales (p. ej., calcio).
- **Un aporte continuo** de nuevas células sanguíneas.



**FIGURA 1-4. Sistema esquelético. A. Vista anterior. B. Vista posterior.** Se muestra el esqueleto apendicular en *púrpura* para distinguirlo del esqueleto axial (*amarillo*). Los cartílagos están coloreados de *azul*. Las marcas y formaciones óseas se muestran del lado derecho.



**FIGURA 1-4.** *Continuación.*



**FIGURA 1-5. Cortes de huesos. A.** Cortes transversos del fémur. **B.** Corte frontal del extremo proximal del fémur. La diáfisis (cuerpo) de un hueso vivo es un tubo de hueso compacto, cuya cavidad medular contiene médula. Obsérvense las líneas de tensión y presión (trabéculas) relacionadas con la función de soporte de peso de este hueso.

El **cartílago** –una forma semirrígida y resistente de tejido conectivo– forma partes del esqueleto donde se necesita mayor flexibilidad (p. ej., los *cartílagos costales* que fijan las costillas al esternón). Las superficies articulares de los huesos que participan en una articulación sinovial están recubiertas por **cartílago articular** que proporciona superficies deslizantes para el movimiento libre de los huesos que se articulan (véanse los extremos azules del húmero [Fig. 1-4A]). La proporción de hueso y cartílago en el esqueleto cambia a medida que el cuerpo crece; cuanto más joven es una persona mayor es la contribución del cartílago. Los huesos de un recién nacido son blandos y flexibles porque están compuestos principalmente por cartílago.

*El sistema esquelético tiene dos partes principales (Fig. 1-4):*

- El **esqueleto axial** consiste en los huesos de la cabeza (cráneo), el cuello (huesos hioides y vértebras cervicales) y el tronco (costillas, esternón, vértebras y sacro).
- El **esqueleto apendicular** consiste en los huesos de los miembros, que incluyen los que forman las cinturas pectoral (hombro) y pelviana (anillos óseos a los cuales se fijan los miembros superiores e inferiores).

## HUESOS

Hay dos tipos de huesos: **compacto** y **esponjoso**. Las diferencias entre estos tipos de hueso (Fig. 1-5) dependen de la cantidad relativa de materia sólida y de la cantidad y el tamaño de los espacios que contienen. Todos los huesos poseen una capa delgada superficial de hueso compacto que rodea una masa central de hueso esponjoso, salvo donde el último es reemplazado por una **cavidad medular (médula)**. Dentro de esta cavidad de los huesos del adulto, y entre las espículas de hueso esponjoso, se forman las células sanguíneas y las plaquetas. La arquitectura del hueso esponjoso y del compacto varía según su función. El hueso compacto proporciona fuerza para el soporte de peso. En los huesos largos, destinados a proporcionar rigidez e inserción a los músculos o ligamentos, la cantidad de hueso compacto es máxima en el centro de la **diáfisis** (cuerpo) del hueso donde puede

doblarse. La capa delgada superficial de hueso compacto se denomina *hueso cortical*.

### Clasificación de los huesos

Los huesos se clasifican según su forma (Fig. 1-4).

- Los **huesos largos** son estructuras tubulares, como el húmero en el brazo; la longitud real de los huesos tiene poco que ver con esta clasificación (p. ej., las falanges [huesos de los dedos] también se clasifican como huesos largos).
- Los **huesos cortos** son cuboides y se encuentran sólo en el tobillo (tarso) y la muñeca (carpo).
- Los **huesos planos** suelen ejercer funciones protectoras; los huesos planos del cráneo, por ejemplo, protegen el encéfalo.
- Los **huesos irregulares**, como los huesos de la cara, tienen varias formas distintas de largos, cortos o planos.
- Los **huesos sesamoideos**, como la rótula (gorra de la rodilla), se desarrollan en ciertos tendones y se encuentran en el lugar donde los tendones cruzan los extremos de los huesos largos en los miembros. Estos huesos protegen los tendones del desgaste excesivo y a menudo cambian el ángulo desde el cual los tendones se dirigen a sus inserciones.

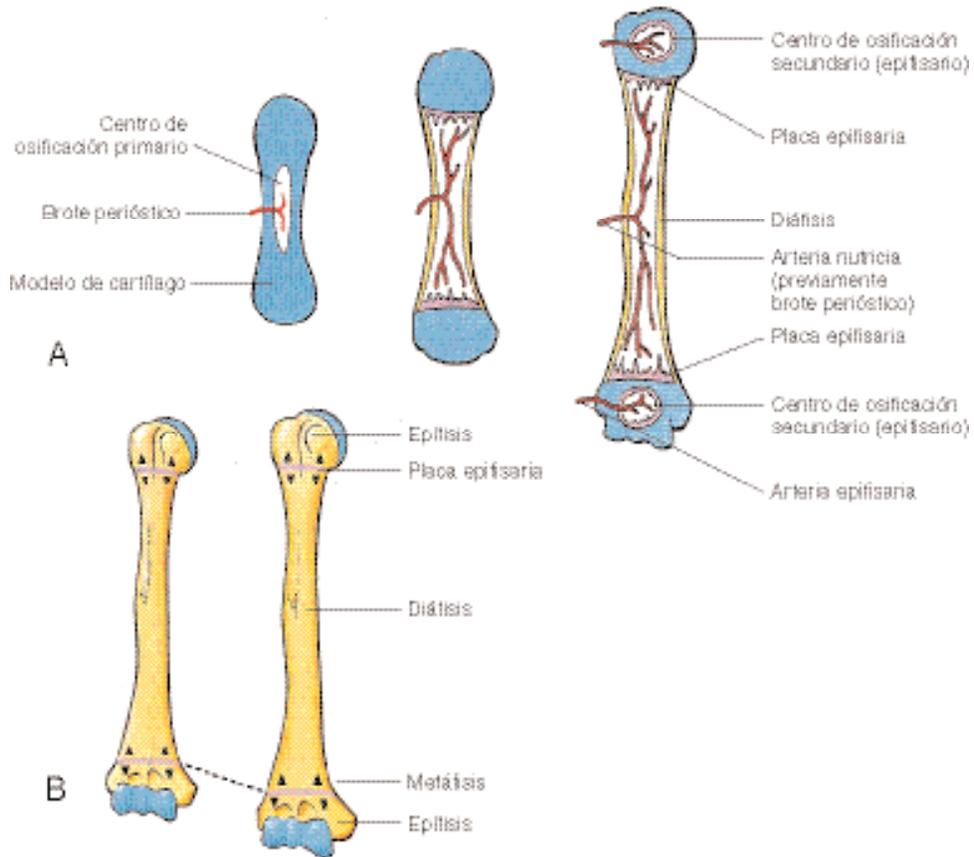
### HUESOS HETEROTÓPICOS

A veces, los huesos se forman en tejidos blandos donde normalmente no están presentes. Los jinetes a menudo desarrollan huesos heterotópicos en los muslos o las nalgas (*huesos de jinete*) probablemente debido a áreas de hematomas repetidos (hemorrágicos o sanguinolentos) que sufren calcificación y finalmente osificación.

### Marcas óseas

Las marcas óseas aparecen donde se fijan tendones, ligamentos y fascias o donde las arterias se ubican adyacentes a los huesos o entran en ellos. Otras formaciones se presentan en relación con el paso de un tendón (a menudo para dirigir el tendón o mejorar su efecto de palanca) o para controlar el tipo de movimiento que ocurre en una articulación. *Algunas marcas y características de los huesos son* (Fig. 1-4B):

- **Cóndilo:** área articular redondeada (p. ej., cóndilos del fémur).



**FIGURA 1-6. Crecimiento del hueso largo.** **A.** Formación de los centros de osificación primarios y secundarios. **B.** El crecimiento en longitud del hueso ocurre a ambos lados de las placas epifisarias (*puntas de flecha*).

- **Cresta:** elevación de hueso (p. ej., la cresta ilíaca).
- **Epicóndilo:** eminencia inmediatamente proximal a un cóndilo (p. ej., epicóndilos del húmero).
- **Cavilla articular:** área plana y lisa, habitualmente cubierta por cartilago, donde un hueso, como una costilla, se articula con otro hueso (p. ej., una vértebra).
- **Foramen:** pasaje a través de un hueso (p. ej., foramen obturado).
- **Fosa:** área hueca o deprimida (p. ej., fosa infraespinosa de la escápula).
- **Línea:** elevación lineal (p. ej., línea del sóleo de la tibia).
- **Maléolo:** prominencia redondeada (p. ej., maléolo lateral del peroné).
- **Escotadura:** indentación en el borde un hueso (p. ej., escotadura ciática mayor en el borde posterior del hueso de la cadera).
- **Protuberancia:** proyección de hueso (p. ej., protuberancia occipital externa del cráneo).
- **Espina:** apófisis similar a una espina (p. ej., espina de la escápula).
- **Apófisis:** parte similar a una espina que se proyecta (p. ej., apófisis espinosa o transversas de una vértebra).
- **Trocánter:** gran elevación roma (p. ej., trocánter mayor del fémur).
- **Tubérculo:** pequeña eminencia elevada (p. ej., tubérculo mayor del húmero).
- **Tuberosidad:** gran elevación redondeada (p. ej., tuberosidad isquiática).

TRAUMATISMO DEL HUESO Y CAMBIOS ÓSEOS

Los huesos son órganos vivos que duelen cuando son lesionados, sangran cuando se fracturan, se remodelan en relación con la tensión que se les impone y cambian con la edad. Al igual que otros órganos, los huesos poseen vasos sanguíneos, vasos linfáticos y nervios y pueden enfermarse. Los huesos que no son utilizados, como los de un miembro paralizado o enyesado, se *atrofian* (disminuyen de tamaño). El hueso puede absorberse, lo cual ocurre en la mandíbula después de que se extraen los dientes. Los huesos se *hipertrofian* (crecen) cuando tienen que soportar un peso mayor durante un período prolongado.

El traumatismo de un hueso puede fracturarlo. Para que la fractura cicatrice correctamente, los extremos óseos deben unirse aproximándolos a su posición normal (*reducción de la fractura*). Durante la cicatrización ósea, los fibroblastos circundantes (células de tejido conectivo) proliferan y secretan colágeno que forma un *collar de callo* para mantener unido el hueso. Se produce el remodelado del hueso en el área de fractura y el callo se calcifica. Finalmente, el callo es reabsorbido y reemplazado por hueso.

#### Osteoporosis

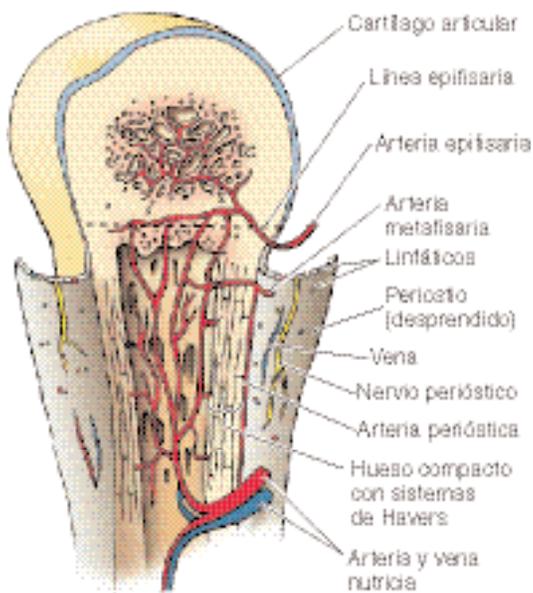
Durante la edad avanzada, tanto los componentes orgánicos como inorgánicos del hueso disminuyen y se produce *osteoporosis* –una reducción en la cantidad de hueso (atrofia del tejido esquelético)–. Los huesos se tornan frágiles, pierden su elasticidad y se fracturan fácilmente.

#### Desarrollo del hueso

Todos los huesos derivan del *mesénquima* (tejido conectivo embrionario) a través de dos procesos diferentes: *osificación intramembranosa* (directamente a partir del mesénquima) y *osificación endocondral* (a partir del cartílago derivado del mesénquima). La estructura histológica de un hueso es la misma cualquiera que sea el proceso.

- En la **osificación intramembranosa** se forman modelos mesenquimáticos de hueso durante el período embrionario; la osificación directa del mesénquima comienza en el período fetal.
- En la **osificación endocondral** se forman modelos cartilagosos de hueso a partir del mesénquima durante el período fetal y posteriormente (después del nacimiento en gran parte) el hueso reemplaza a la mayor parte del cartílago.

Una descripción breve de la osificación endocondral explica cómo crecen los huesos largos. Las células mesenquimáticas se condensan y diferencian en *condroblastos* –células que se dividen en el tejido cartilaginoso en crecimiento– que forman un modelo de cartílago (Fig. 1-6). En la región central del modelo de hueso, el car-



**FIGURA 1-7. Vasculatura e inervación de un hueso largo.** La mayor parte del hueso compacto está compuesta por los sistemas de los canales de Havers (osteonas). El canal de Havers en el sistema alberga uno o dos vasos sanguíneos pequeños para nutrir a los osteocitos (células óseas).

tílago se calcifica (se impregna con sales cálcicas) y crecen capilares periósticos (capilares desde la vaina fibrosa que rodea al modelo) en el cartílago calcificado del modelo óseo e irrigan su interior. Estos vasos sanguíneos, junto con las células osteogénicas (formadoras de hueso) asociadas, forman un **brote perióstico**. Los capilares inician el **centro de osificación primario**, denominado así porque el tejido tisular que forma reemplaza a la mayor parte del cartílago en el cuerpo principal del modelo de hueso. La vaina o el cuerpo de un hueso osificado a partir de un centro de osificación primario es la **diáfisis**.

La mayoría de los **centros de osificación secundarios** aparecen en otras partes del hueso en desarrollo después del nacimiento; las partes de un hueso que se osifican a partir de estos centros son las **epífisis**. La parte ensanchada de la diáfisis que se encuentra más cerca de la epífisis se conoce como **metáfisis** (Fig. 1-6B). Para que el crecimiento continúe, el hueso formado a partir del centro primario en la diáfisis no se fusiona con el formado a partir de los centros secundarios en las epífisis hasta que el hueso alcanza su

tamaño adulto. Así, durante el crecimiento de un hueso largo, las **placas epifisarias** cartilaginosas se interponen entre la diáfisis y las epífisis. Finalmente, estas placas de crecimiento son reemplazadas por hueso en ambos extremos, tanto diafisario como epifisario. Una vez que ocurre esto, cesa el crecimiento óseo y la diáfisis se fusiona con las epífisis (*sinostosis*). La sutura que se forma durante este proceso es particularmente densa y se reconoce en las radiografías como **línea epifisaria** (Fig. 1-7). La fusión epifisaria de los huesos ocurre progresivamente desde la pubertad hasta la edad madura.

#### HUESOS ACCESORIOS

Los huesos accesorios (supernumerarios) se desarrollan cuando aparecen centros de osificación adicionales y forman huesos extras. Muchos huesos se desarrollan a partir de varios centros de osificación (sitios de la primera formación ósea) y las partes separadas normalmente se fusionan. A veces, uno de estos centros no se fusiona con el hueso principal y tiene el aspecto de un hueso supernumerario; sin embargo, un estudio cuidadoso muestra que el aparente hueso extra es una parte faltante del hueso principal. Es importante saber que los *huesos accesorios son frecuentes en el pie* para no confundirlos con astillas de hueso en las radiografías y otras imágenes médicas. A menudo se observan áreas circunscritas de hueso a lo largo de las suturas del cráneo donde se unen los huesos planos. Estos pequeños huesos parecidos a gusanos son *huesos suturales* (huesos wormianos).

#### Evaluación de la edad ósea

El conocimiento de los sitios donde aparecen los centros de osificación, los tiempos de su aparición, la velocidad a la que crecen y los tiempos de fusión de los sitios (tiempos cuando ocurre la sinostosis) se utilizan para determinar la edad de una persona. Los principales criterios para determinar la edad ósea son:

- Aparición de material calcificado en la diáfisis y/o las epífisis.
- Desaparición de la línea oscura que representa la placa epifisaria (la ausencia de esta línea indica que ha ocurrido la fusión epifisaria); la fusión ocurre en momentos específicos para cada epífisis. La fusión de las epífisis con la diáfisis ocurre 1 a 2 años antes en las niñas que en los varones.

La determinación de la edad ósea puede ser útil para predecir la altura de un adulto en adolescentes con maduración temprana o tardía y para establecer la edad aproximada de los restos esqueléticos humanos en los casos medicolegales.

Vasculatura e inervación de los huesos

Las arterias entran en los huesos desde el periostio, la membrana de tejido conectivo fibroso que reviste los huesos (Fig. 1-7). Las **arterias periósticas** penetran en numerosos puntos e irrigan el hueso; estas arterias nutren el hueso compacto. En consecuencia, si se extirpa el periostio el hueso muere. Próximo al centro del cuerpo de un hueso se observa una **arteria nutricia** que pasa oblicuamente a través del hueso compacto e irriga el hueso esponjoso y la médula ósea. Las **arterias metafisarias** e **epifisarias** irrigan los extremos de los huesos.

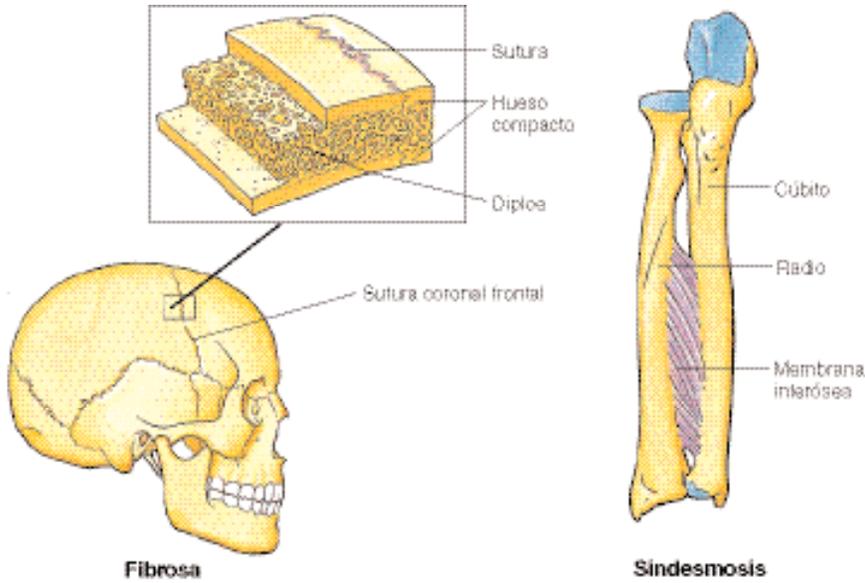
Las **venas** acompañan a las arterias a través de los *forámenes nutricios*. Muchas venas de gran tamaño salen a través de los agujeros próximos a los extremos articulares de los huesos. Los huesos que contienen médula poseen numerosas venas grandes. Los **linfáticos** (vasos linfáticos) son abundantes en el periostio. Los vasos sanguíneos que irrigan los huesos son acompañados por **nervios**. El **periostio** está ricamente inervado por **nervios sensitivos** –nervios periósticos– que transportan las fibras para el dolor. El periostio es muy sensible al desgarro o la tensión, lo cual explica el dolor agudo que causan las fracturas. El hueso propiamente dicho tiene una inervación relativamente escasa por terminaciones sensitivas. Dentro de los huesos, los *nervios vasomotores* producen constricción o dilatación de los vasos sanguíneos, lo cual regula el flujo sanguíneo a través de la médula ósea.

#### NECROSIS AVASCULAR

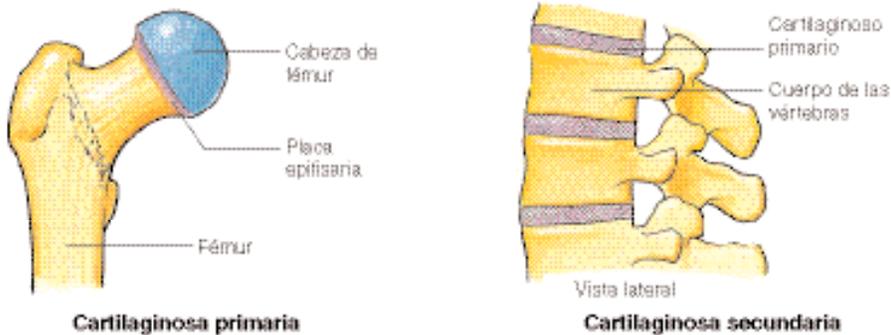
La pérdida de irrigación en una epífisis u otras partes del hueso conduce a la muerte del tejido óseo –*necrosis avascular* (del griego nekrosis, muerte)–. Después de cualquier fractura, las áreas pequeñas de hueso adyacente sufren necrosis. En algunas fracturas puede ocurrir la necrosis avascular de un gran fragmento de hueso.

#### ARTICULACIONES

La articulación es el lugar de unión entre dos o más componentes rígidos (huesos, cartílagos o incluso partes del mismo hueso). Las articulaciones muestran distintas formas y funciones. Algunas articulaciones no tienen movimiento; otras permiten sólo un movimiento leve y algunas son libremente móviles, como la articulación glenohumeral (hombro).

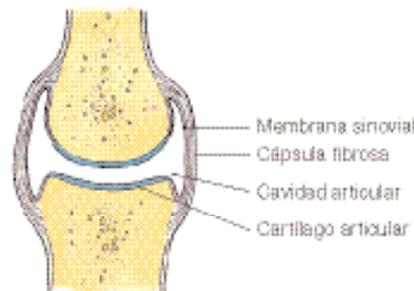
**CUADRO 1-3. TIPOS DE ARTICULACIÓN**


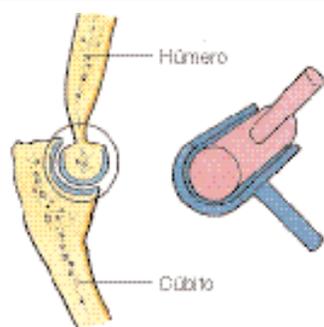
En las articulaciones fibrosas, los huesos que se articulan están unidos por tejido fibroso. Las suturas del cráneo son ejemplos de un tipo de articulación fibrosa donde los huesos están próximos entre sí y unidos por tejido fibroso, a menudo entrelazados a lo largo de una línea ondulada. Los huesos planos consisten en dos placas de hueso compacto separadas por hueso esponjoso y médula (diploa). En una sindesmosis, los huesos están unidos por una lámina de tejido fibroso (p. ej., membrana interósea que une los huesos del antebrazo).



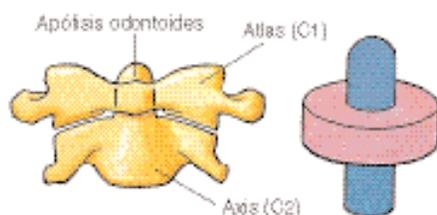
En las articulaciones cartilaginosas, los huesos que se articulan están unidos por un cartilago hialino. El tipo común de sindesmosis es el de un hueso largo en desarrollo donde la epifisis ósea y el cuerpo están unidos por una placa epifisaria. En una sínfisis el tejido de unión es un disco fibroso (p. ej., entre dos vértebras).

Una articulación sinovial se caracteriza por una cavidad articular; los dos huesos están separados por una cavidad articular que contiene líquido sinovial pero están unidos por una cápsula articular (cápsula fibrosa revestida por membrana sinovial). Las superficies de soporte de los huesos están cubiertas por cartilago articular. Desde el punto de vista funcional, las articulaciones sinoviales son las más comunes e importantes. Proporcionan movimiento libre entre los huesos que unen y son típicos de casi todas las articulaciones de los miembros.

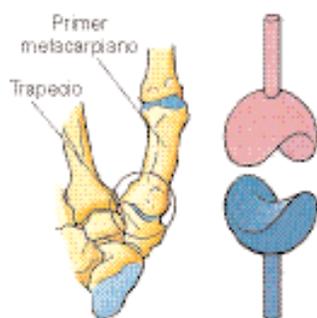

**Articulación sinovial**

**CUADRO 1-4. TIPOS DE ARTICULACIÓN SINOVIAL****En bisagra**

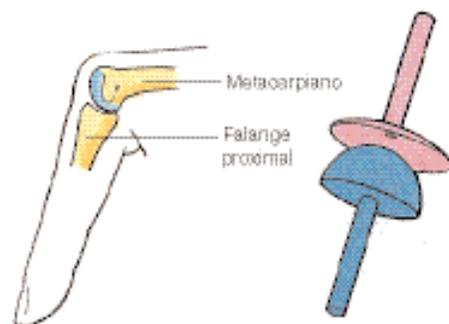
Las articulaciones en bisagra (uniaxiales) sólo permiten la flexión y la extensión (p. ej., articulación del codo).

**En pivote**

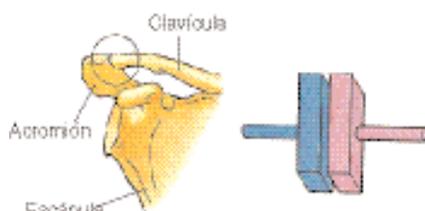
Las articulaciones en pivote (uniaxiales) permiten la rotación. Una apófisis redondeada de hueso se ajusta en un anillo ligamentario (como p. ej., la articulación atlantoaxial entre el atlas (C1) y el axis (C2)).

**En silla de montar**

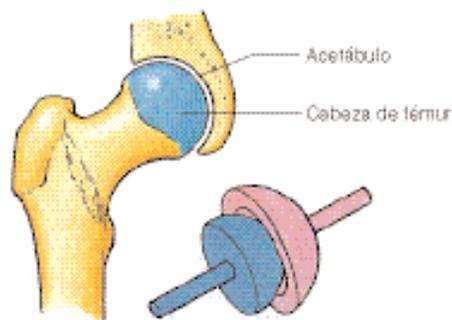
Las articulaciones en silla de montar (biaxiales) tienen una forma similar a la de una silla de montar; es decir, son cóncavas y convexas donde los huesos se articulan.

**Condilea**

Las articulaciones condíleas (biaxiales) permiten flexión y extensión, abducción y aducción, y circunducción (p. ej., articulaciones metacarpofalángicas (muñecas) de los dedos).

**Plana**

Las articulaciones planas permiten los movimientos de traslación o deslizamiento (p. ej., articulación acromioclavicular).

**Esferoideas**

Las articulaciones esferoideas (multiaxiales) permiten el movimiento en varios ejes (p. ej., flexión-extensión, abducción-aducción, rotación medial y lateral y circunducción). Una cabeza redondeada se ajusta en una cavidad.

### Clasificación de las articulaciones

Los **tres tipos de articulación** se clasifican según la forma o el tipo de material por el cual se unen los huesos que se articulan (Cuadro 1-3).

- **Las articulaciones fibrosas están unidas por tejido fibroso;** el grado de movimiento que ocurre en una articulación fibrosa depende en la mayoría de los casos de la longitud de las fibras que unen los huesos articulares. La **sindesmosis** es un tipo de articulación fibrosa que une los huesos mediante una lámina de tejido fibroso, ya sea un ligamento o una membrana fibrosa. En consecuencia, este tipo de articulación es parcialmente móvil. La densa **membrana interósea** en el antebrazo es una lámina de tejido fibroso que une el radio y el cúbito en una sindesmosis. La *gonfosis* o *sindesmosis dentoalveolar* es un tipo de articulación fibrosa en la cual una apófisis similar a una clavija se une a una articulación en alvéolo entre la raíz del diente y el proceso alveolar (alvéolo).
- **Las articulaciones cartilagosas están unidas por cartílago hialino o por fibrocartilago** (una combinación de cartílago y tejido fibroso).
- **Las superficies articulares de las articulaciones sinoviales están cubiertas por cartílago y unidas por una cápsula fibrosa.** Una membrana sinovial encierra las superficies articulares dentro de una cavidad articular. Las **articulaciones sinoviales** –el tipo más frecuente de articulación– permiten un movimiento libre entre los huesos y son típicas de casi todas las articulaciones de los miembros. Las articulaciones sinoviales contienen *líquido sinovial* y están revestidas por una **membrana sinovial** que consiste en tejido conectivo vascular que produce líquido sinovial. Este líquido cumple la doble función de nutrir al cartílago articular y lubricar las superficies articulares.

*Las características distintas de una articulación sinovial son:*

- Una **cavidad articular**.
- El **cartílago articular** cubre los extremos del hueso.
- Las superficies que se articulan y la cavidad articular están encerradas por una **cápsula articular** (cápsula fibrosa revestida por una membrana sinovial).

*Las articulaciones sinoviales suelen estar reforzadas por ligamentos accesorios* que son independientes (extrínsecos) o forman un engrosamiento de una parte de la cápsula fibrosa (intrínsecos). Algunas articulaciones sinoviales tienen otras características distintivas como *discos articulares* fibrocartilaginosos, que están presentes cuando las superficies articulares de los huesos no son congruentes. Los **seis tipos principales de articulación sinovial** se clasifican según la forma de las superficies articulares, el tipo de movimiento que permiten o ambos (Cuadro 1-4).

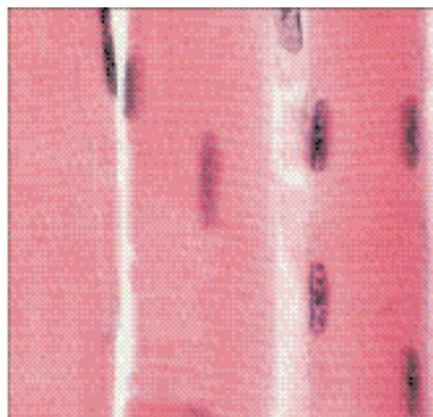
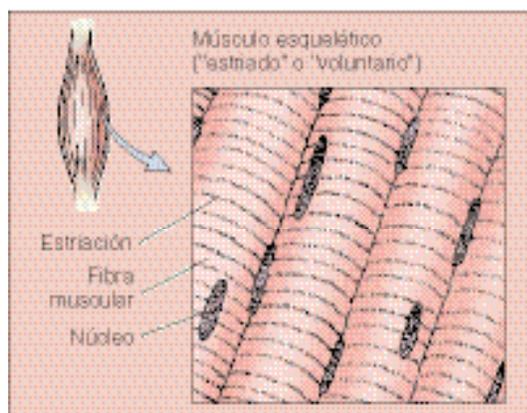
### Vasculatura e inervación de las articulaciones

*Las articulaciones reciben sangre de las arterias articulares* que nacen de los vasos que rodean la articulación. Las arterias a menudo se anastomosan (comunican) para formar redes (anastomosis), que permiten una irrigación continua en las distintas posiciones de la articulación. Las *venas articulares* –venas comunicantes (véase Fig. 1-12C)– acompañan a las arterias y, al igual que ellas, se localizan en la cápsula articular, principalmente en la membrana sinovial.

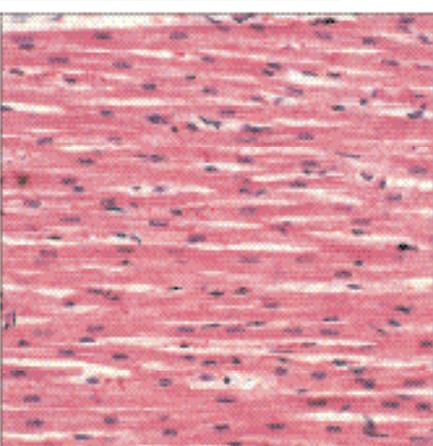
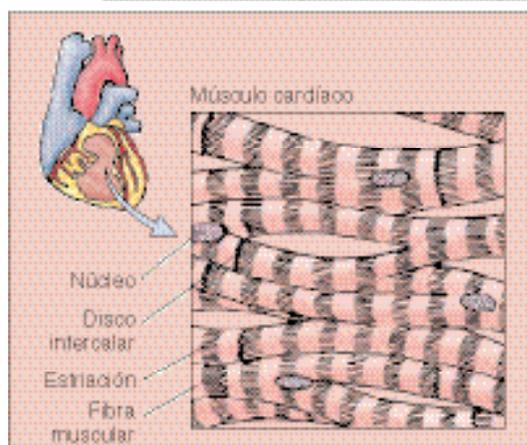
*Las articulaciones poseen una rica inervación;* las terminaciones nerviosas son numerosas en la cápsula articular. En las partes distales de los miembros, los *nervios articulares* son ramas del nervio cutáneo que inerva la piel suprayacente. A partir de esto, la mayoría de los nervios articulares son ramas de los nervios que inervan los músculos que cruzan y, por lo tanto, mueven la articulación. *La ley de Hilton afirma que los nervios que inervan una articulación también inervan los músculos que mueven la articulación y la piel que cubre las inserciones de estos músculos.* Las articulaciones transmiten una sensación denominada *propiocepción*, información que proporciona la sensación de movimiento y de la posición de las distintas partes del cuerpo.

### ENFERMEDAD ARTICULAR DEGENERATIVA

Las articulaciones sinoviales están bien concebidas para soportar el desgaste pero el uso intenso durante varios años puede producir cambios degenerativos. El envejecimiento del cartílago articular, que comienza en los primeros años de la vida adulta y luego progresa lentamente ocurre en los extremos de los huesos articulares, sobre todo los de la cadera, la rodilla, la columna vertebral y las manos. *Estos cambios degenerativos irreversibles de las articulaciones hacen que el cartílago articular se torne menos eficaz como absorbente de*



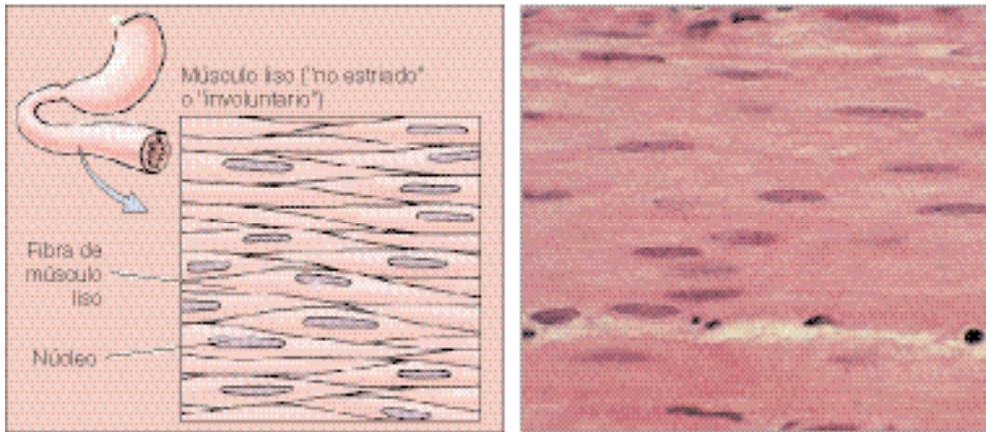
Localización	Aspecto	Tipo de actividad	Estimulación
El músculo nombrado (p. ej., el bíceps del brazo) fijado al esqueleto y la fascia de los miembros, la pared corporal y cabeza/cuello	Fibras grandes, largas, no ramificadas y cilíndricas con estricciones (bandas) transversales dispuestas en haces paralelos; múltiples núcleos de localización periférica	Contracción intermitente (física) rápida y fuerte por encima de un tono basal; actúa fundamentalmente para producir movimiento o resistir la gravedad	Voluntaria (o refleja) por el sistema nervioso somático (SNS, p. 36)



Localización	Aspecto	Tipo de actividad	Estimulación
Músculo del corazón (miocardio) y porciones adyacentes de los grandes vasos (aorta, vena cava)	Fibras más cortas que se ramifican y anastomosan con estricciones (bandas) transversales que discurren paralelas y se conectan por sus extremos mediante uniones complejas (discos intercelares); núcleo único y central	Contracción rítmica continua, rápida y fuerte; actúa para bombear la sangre desde el corazón	Involuntaria; estimulado y propagado intrínsecamente (miogénicamente); la frecuencia y la fuerza de contracción son modificadas por el sistema nervioso autónomo (SNA, p. 36)

(Continúa)

**CUADRO 1-5. CONTINUACIÓN**



Localización	Aspecto	Tipo de actividad	Estimulación
Paradas de vísceras huecas y vasos sanguíneos, iris y cuerpo ciliar del ojo; fijados a los folículos pilosos de la piel (músculo erector del pelo)	Fibras fusiformes pequeñas únicas o aglomeradas, sin estrías; núcleo único y central	Contracción rítmica lenta y débil o tónica sostenida; actúa fundamentalmente para impulsar sustancias (peristaltismo) y restringir el flujo (vasoconstricción y actividad estireriana)	Involuntaria por el sistema nervioso autónomo

los golpes y como superficie lubricada. En consecuencia, la articulación se vuelve vulnerable a la fricción repetida que ocurre durante los movimientos articulares. En algunas personas estos cambios producen un dolor considerable. La *enfermedad articular degenerativa* –osteoartritis o artrosis– a menudo se acompaña de rigidez, malestar y dolor. La *artrosis* es común en las personas de edad avanzada y suele afectar las articulaciones que sostienen el peso de sus cuerpos (p. ej., caderas y rodillas).

**SISTEMA MUSCULAR**

Las células musculares –a menudo denominadas *fibras musculares* porque son largas y estrechas cuando están relajadas– producen contracciones que movilizan las partes del cuerpo, incluidos los órganos internos. El tejido conectivo asociado contiene fibras nerviosas y capilares a las fibras musculares a medida que las une en haces o fascículos. Los músculos también dan forma al cuerpo y proporcionan calor. *Hay tres tipos de músculo* (Cuadro 1-5):

- El **músculo esquelético**, que mueve los huesos y otras estructuras (p. ej., los ojos).
- El **músculo cardíaco**, que forma la mayor parte de las paredes del corazón y las porciones adyacentes de los grandes vasos, como la aorta.
- El **músculo liso**, que forma parte de las paredes de la mayoría de los vasos y los órganos huecos, mueve las sustancias a través de las vísceras como el intestino y controla el movimiento a través de los vasos sanguíneos.

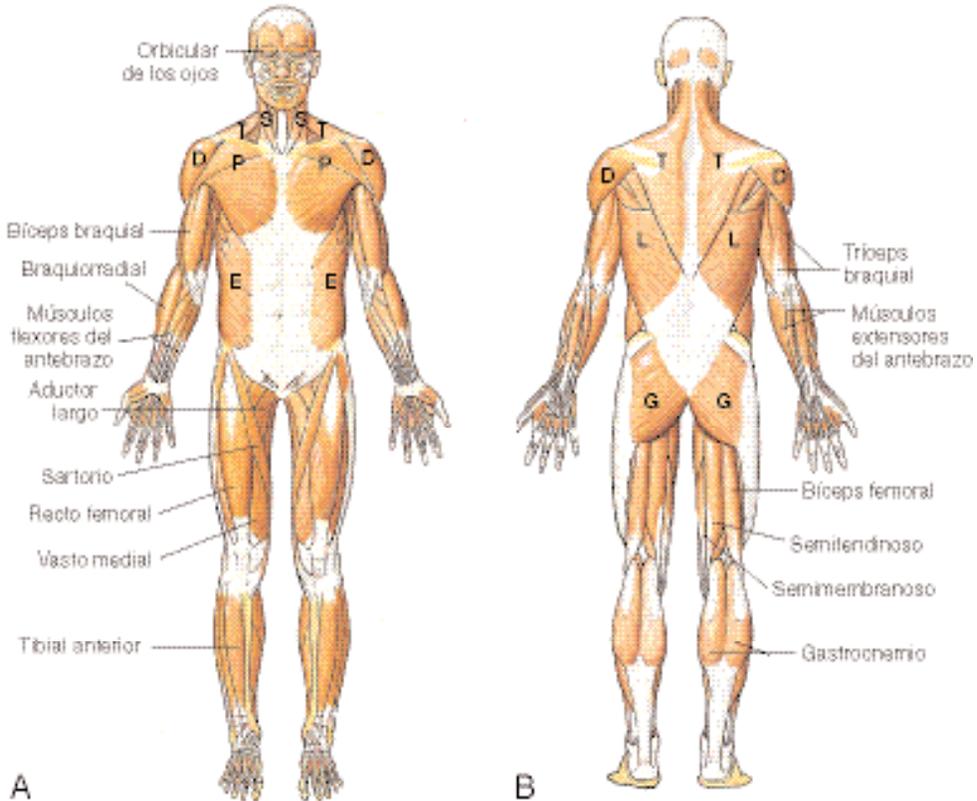
**MÚSCULO ESQUELÉTICO**

La mayoría de los músculos esqueléticos están fijados directa o indirectamente a través de los tendones a los huesos, los cartílagos, los ligamentos o las fascias o a alguna combinación de estas estructuras. Algunos músculos esqueléticos están fijados a los órganos (por ejemplo, el globo ocular), a la piel (como los músculos faciales) y a la membrana mucosa (músculos intrínsecos de la lengua que alteran su forma). Cuando un músculo se contrae y se acorta, una de sus inserciones suele man-

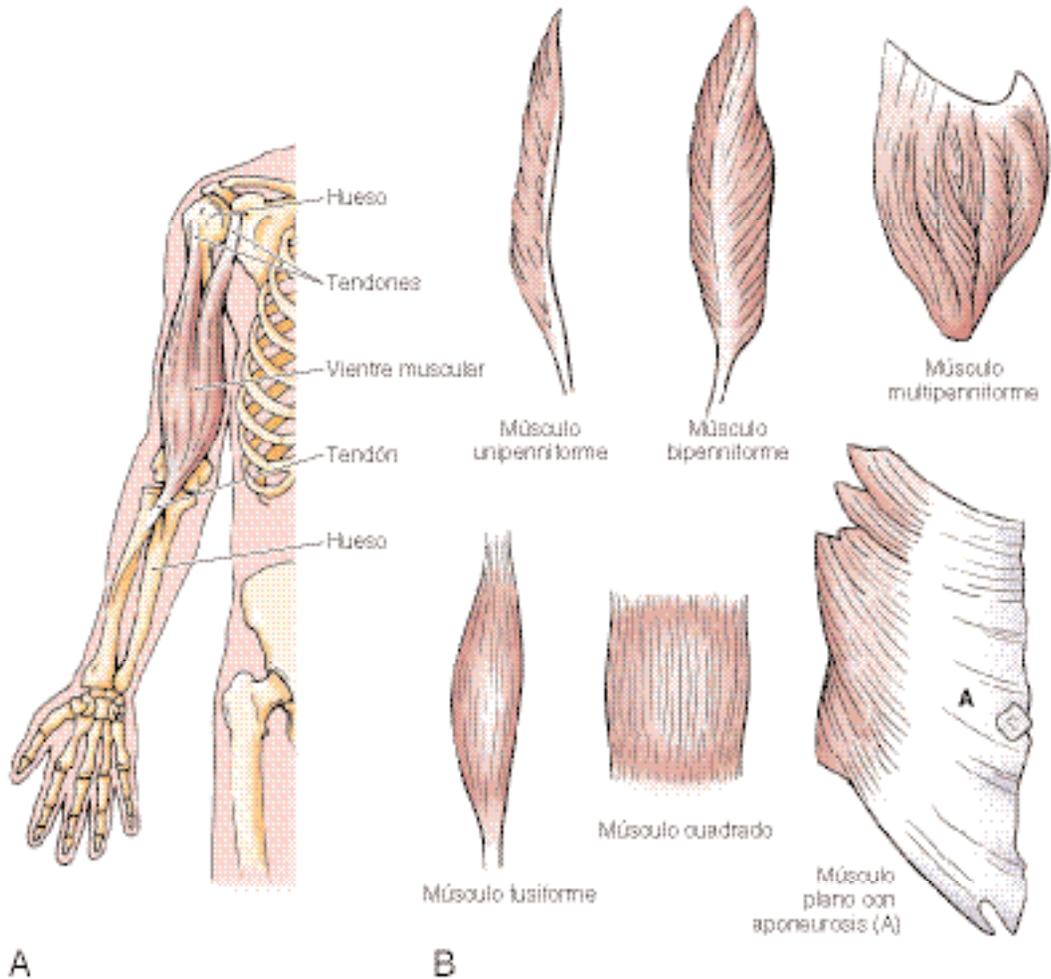
tenerse fija y la otra se mueve. Las fijaciones de los músculos se describen comúnmente como el origen y la inserción; el *origen* suele ser el extremo proximal del músculo que se mantiene fijado durante la contracción muscular y la *inserción* suele ser el extremo distal del músculo que es móvil. Sin embargo, algunos músculos pueden actuar en ambas direcciones en diferentes circunstancias. Por lo tanto, en este libro los términos *proximal* y *distal* o *medial* y *lateral* se utilizan cuando se describe la mayor parte de las inserciones musculares. Los músculos esqueléticos producen movimientos del esqueleto y de otras partes. La figura 1-8 muestra los principales músculos esqueléticos; a menudo se denominan *músculos voluntarios* porque los individuos pueden controlar la actividad de muchos de ellos en forma voluntaria. Sin embargo, algunas de sus acciones son automáticas (p. ej., el diafragma se contrae automáticamente); una persona lo controla voluntariamente cuando respira en profundidad. Los músculos

esqueléticos también se denominan músculos “estriados” o “en bandas” debido al aspecto estriado de sus células (fibras) en el microscopio (Cuadro 1-5). *Los músculos esqueléticos producen movimiento por acortamiento; traccionan y nunca empujan*; sin embargo, ciertos fenómenos –como “provocar chasquidos en los oídos” para equalizar la presión de aire y la *bomba musculovenosa*– aprovechan la expansión de los vientres musculares durante la contracción (véase Fig. 1-12B).

*La arquitectura y la forma de los músculos esqueléticos varían.* La porción carnosa es el **vientre muscular** (Fig. 1-19A). Algunos músculos son totalmente carnosos, pero la mayoría tienen **tendones** que los fijan a los huesos. Cuando se hace referencia a la longitud de un músculo, se incluye tanto el vientre como los tendones, es decir, *la longitud de un músculo es la distancia entre sus inserciones óseas*. Algunos tendones forman láminas planas o **aponeurosis** que fijan un músculo a otro, como los músculos oblicuos externos



**FIGURA 1-8. Músculos esqueléticos. A. Vista anterior. B. Vista posterior.** Algunos músculos más grandes están rotulados. S, esternocleidomastoideo; T, trapecio; D, deltoides; P, pectoral mayor; E, oblicuo externo; L, dorsal ancho; G, glúteo mayor.



**FIGURA 1-9. Arquitectura y forma de los músculos esqueléticos. A.** Músculo esquelético in situ. **B.** Disposición de las fibras.

de la pared abdominal anterolateral (Fig. 1-9B). La mayoría de los músculos se denominan sobre la base de su función o de los huesos a los cuales se fijan. Por ejemplo, el abductor del meñique (del latín, *digiti minimi*), abduce el meñique. El esternocleidomastoideo (cleido: clavícula) se fija por debajo al esternón y la clavícula y por arriba a la apófisis mastoides del hueso temporal del cráneo. Otros músculos se denominan sobre la base de su posición (medial, lateral, anterior o posterior) o longitud (*brevis*, corto; *longus*, largo). Los músculos pueden describirse o clasificarse según su forma (Figs. 1-8 y 1-9). Por ejemplo:

- **Músculos penniformes**, que tienen una disposición similar a las plumas (del latín *pennatus*, pluma) de sus fascículos y pueden ser uni-

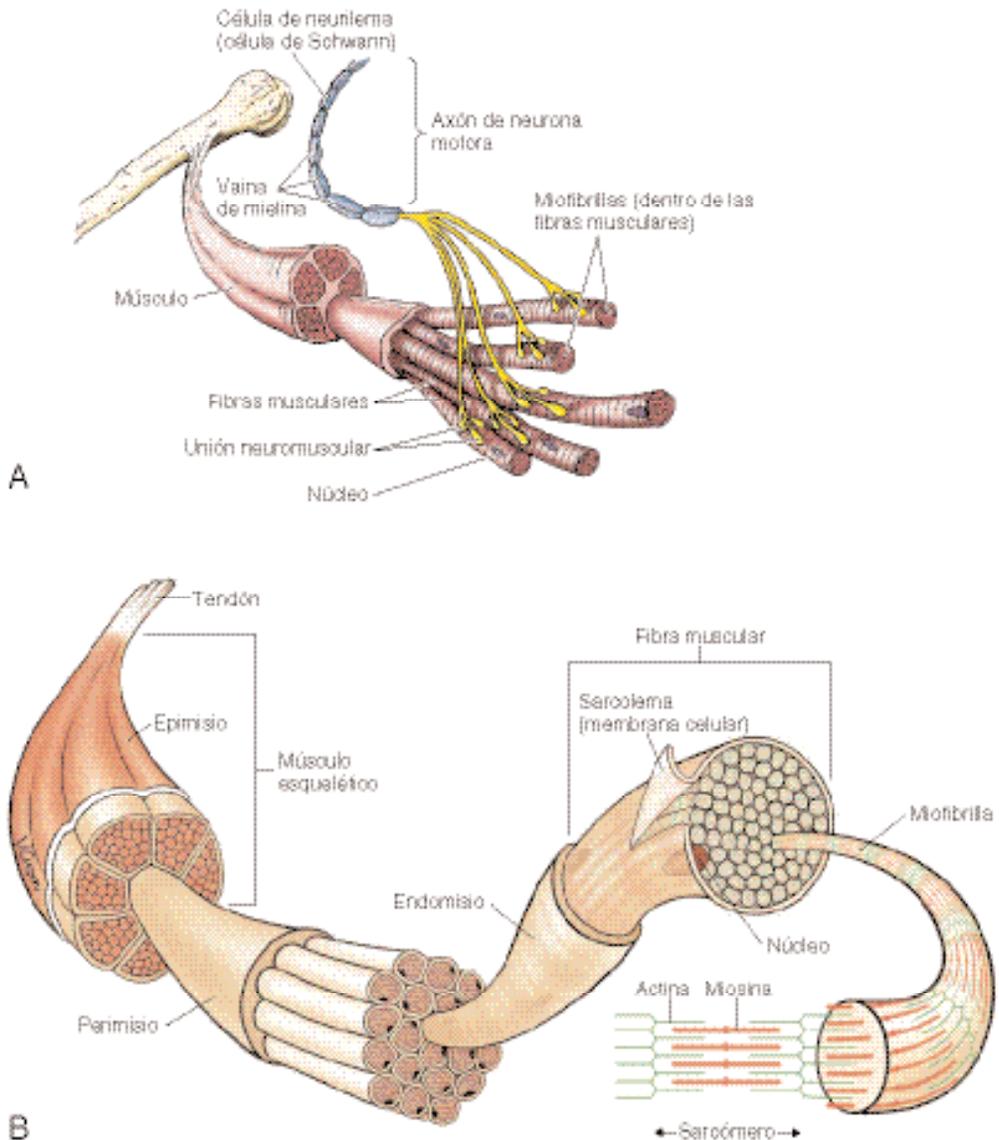
penniformes, bipenniformes o multipenniformes, como el deltoides.

- Un **músculo fusiforme**, que tiene forma de huso (vientre grueso y redondeado y extremos aguzados), por ejemplo, el bíceps braquial.
- Un **músculo cuadrado**, que tiene cuatro lados (del latín *quadratus*, cuadrado), por ejemplo, el pronador cuadrado prona el antebrazo (Cuadro 1-2).
- El **músculo circular** o **esfinteriano**, que rodea un orificio corporal o un orificio que se cierra al contraerse, por ejemplo, el orbicular de los ojos cierra el ojo.

- Los **músculos planos** con fibras paralelas que a menudo tienen una aponeurosis, por ejemplo, el oblicuo externo.

La unidad estructural de un músculo es una **fibra muscular** (Fig. 1-10). Una delicada red de fibras de colágeno y elásticas, el **endomisio**, recubre toda la fibra muscular. Las fibras musculares paralelas están organizadas en haces que

están cubiertos por una cobertura más pesada de tejido conectivo, el **perimisio**. Un revestimiento de tejido conectivo más grueso, el **epimisio**, rodea al músculo propiamente dicho. La unidad funcional de un músculo, que consiste en una neurona motora y las fibras musculares que ésta controla, es una **unidad motora**. Cuando un impulso nervioso alcanza una neurona motora en la médula espinal, se inicia otro impulso que



**FIGURA 1-10.** Estructura de un músculo esquelético y una unidad motora. **A.** Unidad motora. El agregado del axón de una neurona motora y todas las fibras musculares inervadas por ella constituyen una unidad motora. **B.** Epimisio, perimisio y endomisio. Los filamentos de actina (delgados) y de miosina (gruesos) son elementos contráctiles en las fibras musculares.

hace que todas las fibras musculares inervadas por la unidad motora se contraigan simultáneamente. La cantidad de fibras musculares de una unidad motora varía entre una y varios cientos según el tamaño y la función del músculo. Las grandes unidades motoras, donde una neurona inerva varios cientos de fibras musculares, se encuentran en los grandes músculos del tronco y los muslos. En los pequeños músculos del ojo y de la mano, donde se requieren movimientos precisos, la unidad motora sólo contiene unas pocas fibras musculares.

*Los movimientos son el resultado de la activación de una cantidad creciente de unidades motoras:*

- *Los movilizadores primarios o agonistas son los principales músculos activados durante un movimiento específico del cuerpo; se contraen activamente para producir el movimiento deseado.*
- *Los antagonistas son músculos que se oponen a la acción de los movilizadores primarios; a medida que un movilizador primario se contrae, el antagonista se relaja progresivamente y produce un movimiento suave.*
- *Los sinergistas complementan la acción de los movilizadores primarios, por ejemplo, al impedir el movimiento de la articulación interpuesta cuando un movilizador primario pasa por encima de más de una articulación.*
- *Los fijadores mantienen quietas las partes proximales de los miembros mientras se producen movimientos en las partes distales.*

El mismo músculo puede actuar como movilizador primario, antagonista, sinergista o fijador en diferentes circunstancias.

#### EXAMEN MUSCULAR

El examen muscular ayuda al examinador en el diagnóstico de las lesiones nerviosas. *Existen dos métodos comunes de examen:*

- La persona efectúa movimientos que resisten a los que produce el examinador.
- El examinador realiza movimientos contra la resistencia producida por la persona.

Por ejemplo, cuando examina la flexión del antebrazo el examinador le solicita a la persona que flexione el antebrazo (Cuadro 1-2), mientras el examinador se opone al esfuerzo. Esta técnica le permite al examinador medir la potencia del movimiento de la persona. En general, los músculos

se evalúan ambos bilateralmente pares para compararlos.

#### Electromiograma (EMG)

La estimulación eléctrica o EMG es otro método para evaluar la acción de un músculo. El examinador coloca electrodos de superficie sobre un músculo y le solicita a la persona que realice ciertos movimientos. Entonces el examinador amplifica y registra las diferencias en los potenciales de acción eléctricos de los músculos. Un músculo en reposo normal muestra sólo una actividad basal (tono), que desaparece sólo durante el sueño, la parálisis y cuando el individuo está bajo anestesia. Los músculos en contracción demuestran picos variables de actividad fásica. El EMG hace posible el análisis de la actividad de un músculo individual durante diferentes movimientos. El EMG también puede formar parte de un programa terapéutico para restablecer la acción de los músculos.

#### Atrofia muscular

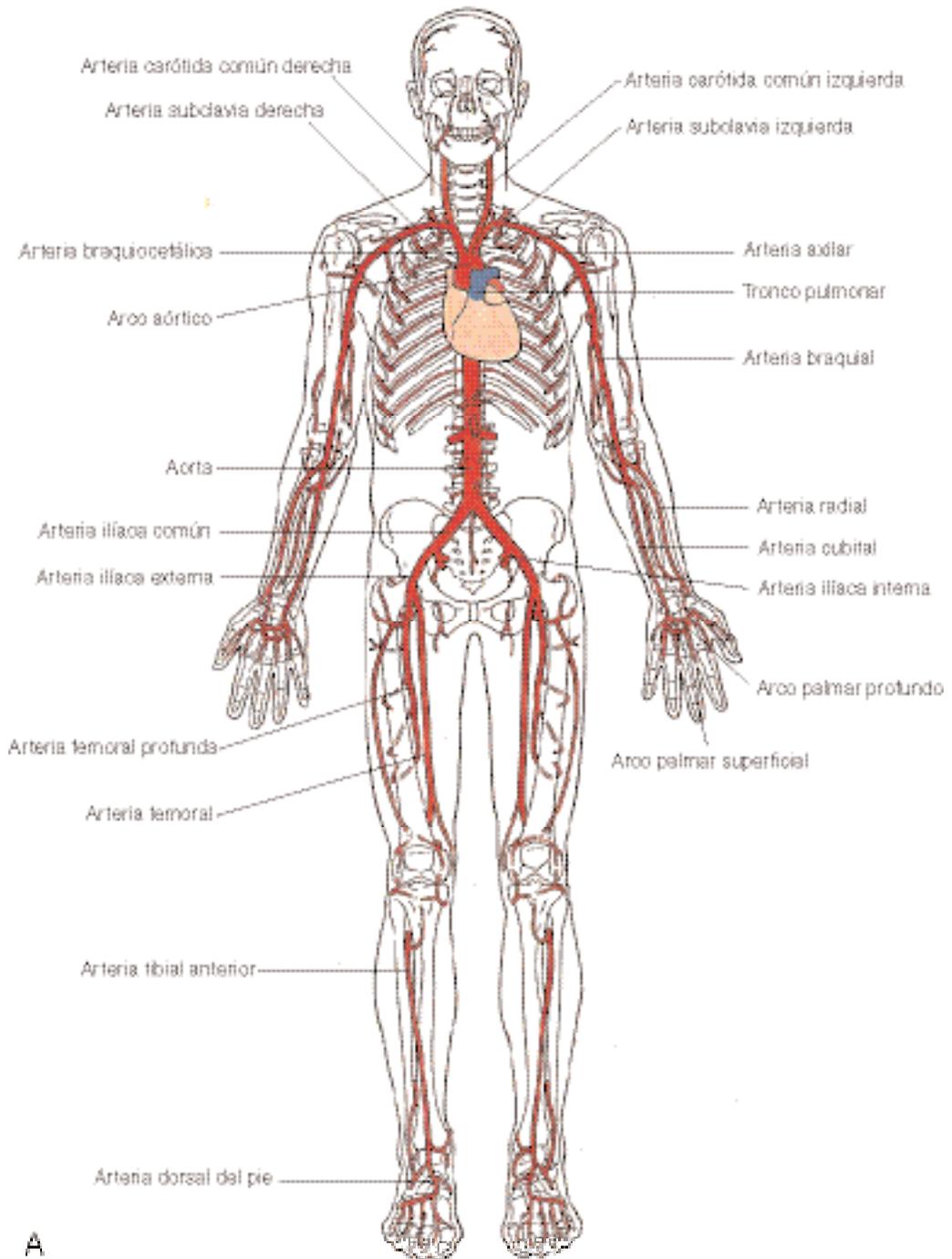
La atrofia del tejido muscular de un miembro, por ejemplo, puede ser el resultado de un trastorno primario del músculo o de una lesión de una unidad motora. La atrofia muscular también puede ser causada por la inmovilización de un miembro con un yeso.

### MÚSCULO CARDÍACO

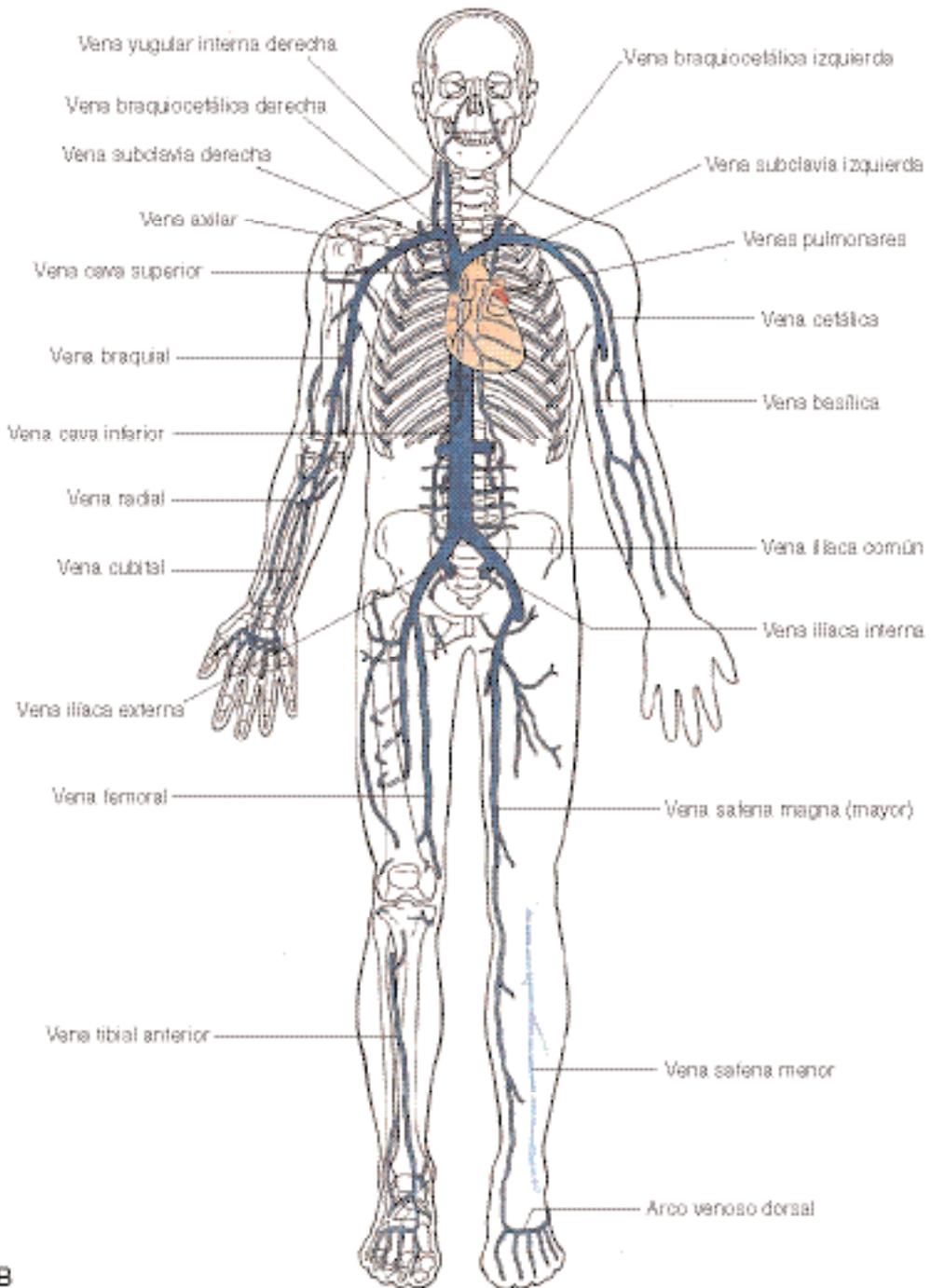
*El músculo cardíaco forma la pared muscular del corazón (Cuadro 1-5): el miocardio.* También hay algo de músculo cardíaco en la aorta, la vena pulmonar y la vena cava superior. Las contracciones del músculo cardíaco no se encuentran bajo control voluntario. La frecuencia cardíaca está regulada intrínsecamente por un *marcapasos*, compuesto por fibras especiales de músculo cardíaco que son influidas por el sistema nervioso autónomo.

### MÚSCULO LISO

El músculo liso –denominado así por la ausencia de estriaciones microscópicas (Cuadro 1-5)– forma gran parte de la túnica media (revestimiento medio) de las paredes de la mayoría de los vasos sanguíneos (véase Fig. 1-12A) y la porción muscular de la pared del tracto digestivo. El músculo liso también se encuentra en la piel –*músculos erectores* asociados con los folículos pilosos (Fig. 1-3)– y en el globo ocular, donde el músculo liso controla el engrosamiento del cristalino y el tamaño de la pupila. Al igual que el músculo cardíaco, el músculo liso está inervado por el sistema nervioso autónomo (SNA) (Cuadro 1-5); por lo tanto, es *músculo involuntario* que puede sufrir una contracción parcial durante períodos prolonga-

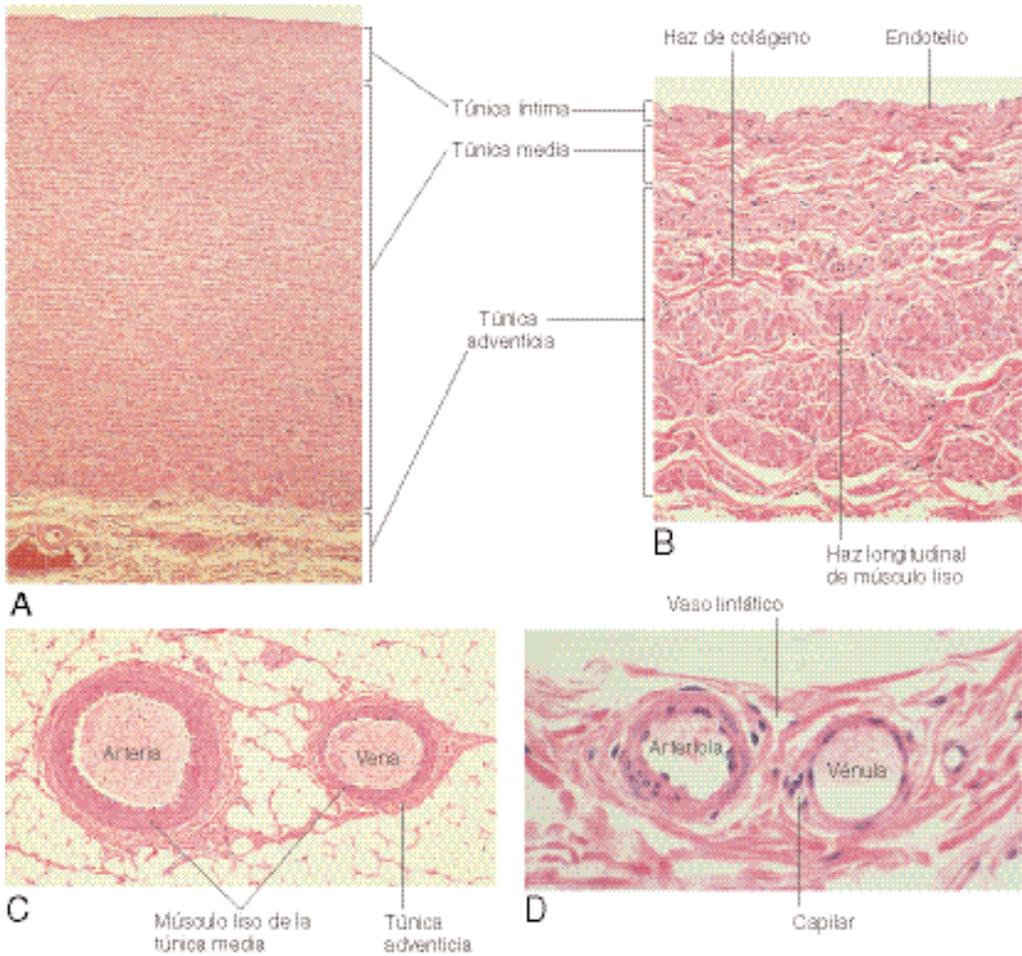


**FIGURA 1-11. Sistema cardiovascular. A.** Sistema arterial. **B.** Sistema venoso. Las venas superficiales se muestran en los miembros izquierdos y las venas profundas en los miembros derechos. La mayoría de las arterias transportan sangre oxigenada que se aleja del corazón y la mayoría de las venas transportan sangre desoxigenada al corazón; sin embargo, las arterias pulmonares que nacen del tronco pulmonar transportan sangre desoxigenada (coloreadas de azul) a los pulmones y las venas pulmonares transportan sangre oxigenada



**FIGURA 11.** *Continuación*



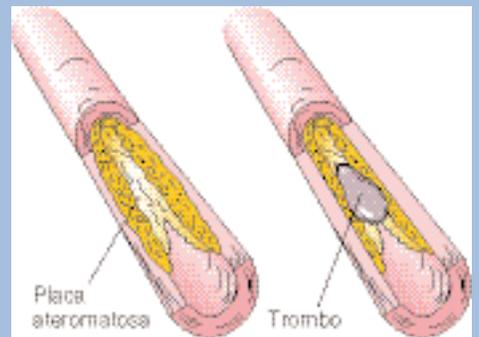


**FIGURA 1-13. Estructuras de arterias y venas.** A. Arteria elástica (aorta, bajo aumento). B. VCI (bajo aumento). C. Arteria y vena musculares (bajo aumento). D. Arteriola y vénula (gran aumento).

dos. Esto es importante para regular el tamaño de la luz de las estructuras tubulares; en las paredes del tracto digestivo, las trompas uterinas y los uréteres, las células de músculo liso sufren contracciones rítmicas (ondas peristálticas). Este proceso *peristáltico* impulsa el contenido a lo largo de estas estructuras tubulares.

**HIPERTROFIA**

El *miocardio* responde al aumento de las demandas *hipertrofia compensadora* mediante el incremento del tamaño de sus fibras (células). Cuando las fibras de músculo cardíaco se lesio-



nan durante un ataque cardíaco, se forma tejido cicatrizal fibroso que produce un *infarto de miocardio* (IM): un área de necrosis miocárdica (muerte del tejido miocárdico).

Las células de músculo liso también sufren hipertrofia compensadora en respuesta al aumento de las demandas. Durante el embarazo, las células de músculo liso de la pared uterina no sólo aumentan de tamaño (*hipertrofia*), sino también en cantidad (*hiperplasia*).

## SISTEMA CARDIOVASCULAR

El corazón y los grandes vasos forman una *red de transporte de sangre*: el *sistema cardiovascular* (Fig. 1-11). A través de este sistema, el corazón bombea sangre a través del amplio sistema de va-

sos del cuerpo. La sangre transporta nutrientes, oxígeno y productos de desecho hacia las células y desde ellas. La sangre bajo alta presión abandona el corazón y es distribuida en el cuerpo por un sistema ramificado de **arterias** de paredes gruesas. Los vasos distribuidores finales –**arteriolas**– entregan sangre oxigenada a los **capilares**, que forman un **lecho capilar** donde ocurre el intercambio de oxígeno, nutrientes, productos de desecho y otras sustancias con el líquido extracelular (Fig. 1-12A). La sangre que proviene del lecho capilar pasa a las **vénuclas** de paredes delgadas, que se asemejan a capilares anchos. Las vénuclas drenan en **venas** pequeñas que se abren en venas de mayor tamaño. Las venas más grandes, las venas cavas superior e inferior (VCS y VCI), retornan sangre poco oxigenada al corazón. *Las paredes de los vasos sanguíneos tienen tres túnicas o revestimientos. De afuera hacia adentro las capas separadas de tejido, túnicas, son:*

- Túnica externa.
- Túnica media.
- Túnica interna.

## ARTERIAS

Las arterias transportan la sangre desde el corazón y la distribuyen en el cuerpo (Fig. 1-11A). La sangre pasa desde el corazón a través de arterias de un calibre siempre decreciente. Los diferentes tipos de arterias se distinguen entre sí por el espesor y las diferencias en la constitución de las capas, sobre todo la túnica media (Figs. 1-12A y 1-13). *El tamaño de la arteria es una continuidad*; es decir, hay un cambio gradual en las características morfológicas de un tipo al otro. *Existen tres tipos de arteria:*

- Las **arterias elásticas** (arterias de conducción) constituyen el tipo más grande; la *aorta* y sus ramas provenientes del *arco aórtico* son buenos ejemplos. El mantenimiento de la presión sanguínea en el sistema arterial entre las contracciones del corazón es el resultado de la elasticidad de estas arterias. Esta cualidad les permite expandirse cuando el corazón se contrae y retornar a la normalidad entre las contracciones cardíacas.
- Las **arterias musculares** (arterias distribuidoras) como la arteria femoral distribuyen sangre a distintas partes del cuerpo. Sus paredes con-

### VENAS VARICOSAS

Cuando las paredes de las venas pierden su elasticidad, se debilitan. Una vena debilitada se dilata bajo la presión que la columna de sangre soporta contra la gravedad. Esto da por resultado las *venas varicosas* –venas retorcidas y anormalmente tumefactas–, que se observan más a menudo en las piernas. Las venas varicosas tienen un calibre mayor que el normal y las cúspides de sus válvulas no se reúnen o han sido destruidas por la inflamación. Estas venas tienen *válvulas incompetentes*; por lo tanto, la columna de sangre que asciende hacia el corazón está intacta, lo



Venas varicosas

sisten principalmente en fibras de músculo liso de disposición circular, que reducen su luz—espacios interiores de las arterias— cuando se contraen. *Las arterias musculares regulan el flujo de sangre a las diferentes partes* según la necesidad del cuerpo.

- Las **arteriolas** son las más pequeñas; tienen lúmenes relativamente estrechos y paredes musculares gruesas. El grado de presión arterial dentro del sistema vascular está regulado principalmente por el grado de tono (firmeza) en el músculo liso en las paredes arteriales. Cuando el tono es superior al normal, se presenta *hipertensión* (presión arterial elevada).

#### ARTERIOSCLEROSIS Y CARDIOPATÍA ISQUÉMICA

La enfermedad adquirida más frecuente de las arterias es la *arteriosclerosis* (endurecimiento de las arterias), un grupo de enfermedades que se caracteriza por el engrosamiento y la pérdida de elasticidad de las paredes arteriales. La *aterosclerosis*—una forma frecuente de arteriosclerosis— se asocia con el depósito de grasa (principalmente colesterol) en las paredes arteriales. Los depósitos de calcio forman entonces *placas ateromatosas* o *ateromas*. Las complicaciones de la aterosclerosis son la *cardiopatía isquémica* (resultante de una irrigación insuficiente), el *infarto de miocardio* (necrosis del músculo cardíaco y ataque cardíaco), el accidente cerebrovascular y la gangrena (p. ej., necrosis en partes de los miembros).

#### VENAS

Las venas retornan sangre poco oxigenada al corazón desde los lechos capilares. *Las grandes venas pulmonares son atípicas ya que transportan sangre bien oxigenada desde los pulmones al corazón.* Para clarificar esto, las venas pulmonares están coloreadas de rojo en la figura 1-11A. Debido a la menor presión sanguínea del sistema venoso, las paredes de las venas son más delgadas que las de sus arterias acompañantes (Figs. 1-12A y 1-13). Las venas más pequeñas—**vénulas**— se unen para formar venas más grandes que suelen formar *plexos venosos*, como el **arco venoso dorsal** del pie. Las *venas de tamaño intermedio* de los miembros y de otras localizaciones—donde al flujo de sangre se le opone la tracción de la gravedad— tienen **válvulas** que permiten que la sangre fluya hacia el corazón pero no en dirección inversa (Fig. 1-12B). Las **grandes venas**, como las venas cava superior e in-

ferior, se caracterizan por haces anchos de músculo liso longitudinal y una túnica adventicia bien desarrollada.

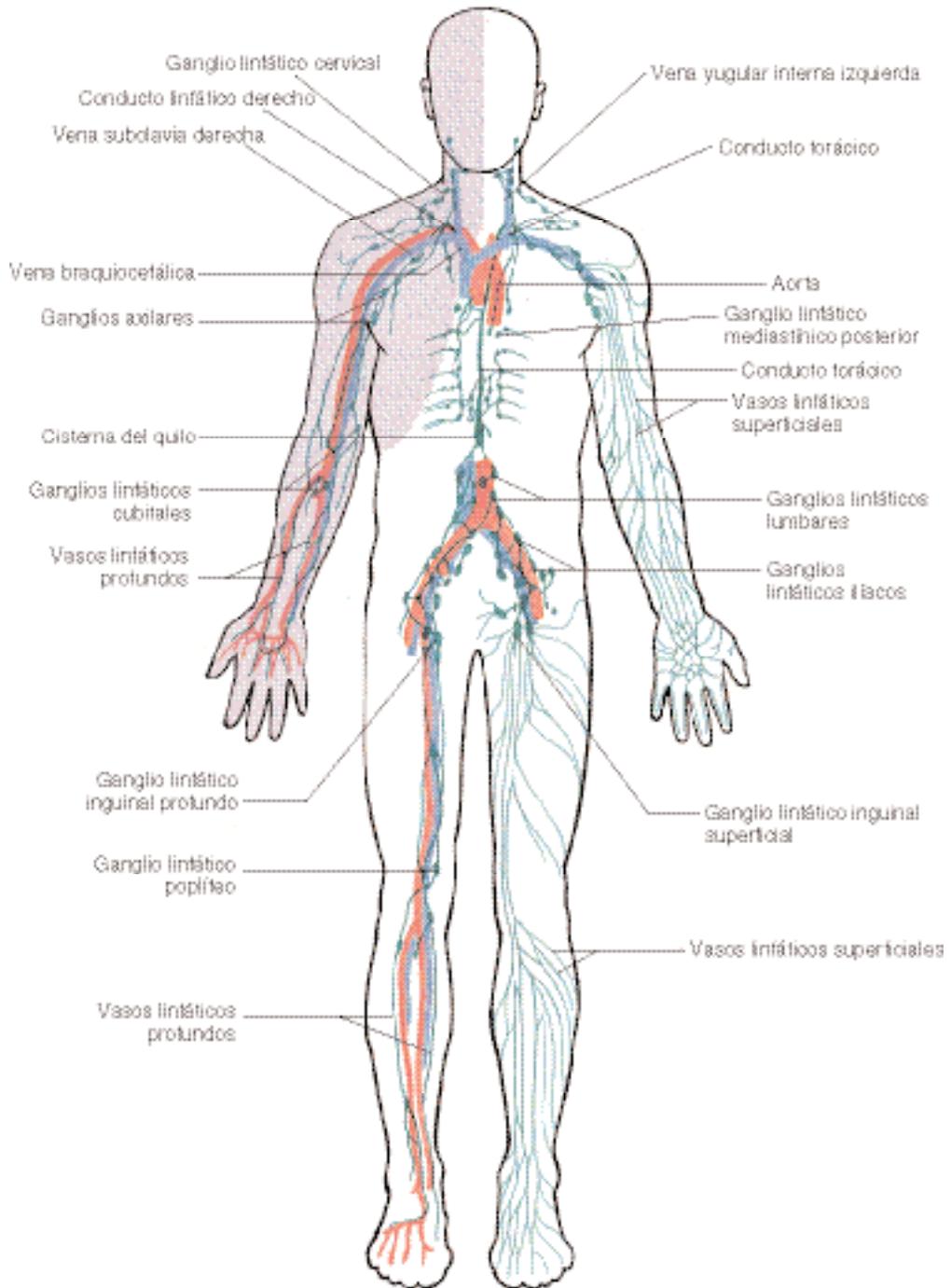
Las *venas suelen ser dobles o múltiples*. Las venas sistémicas son más variables que las arterias y suelen mostrar más anastomosis entre ellas. Las venas que acompañan a las arterias profundas (venas acompañantes o satélites) ocupan una *vaina vascular* relativamente poco notable con la arteria que acompañan (Fig. 1-12C). En consecuencia, son estiradas y aplanadas a medida que la arteria se expande durante la contracción del corazón, lo cual ayuda a conducir la sangre venosa hacia el corazón. La expansión exterior de los vientres de los músculos esqueléticos que se contraen en las piernas, por ejemplo, comprime las venas, “ordeñando” la sangre cranealmente hacia el corazón: la *bomba musculoesquelética* (Fig. 1-12B).

#### CAPILARES

Los capilares son tubos endoteliales simples que conectan los lados arterial y venoso de la circulación. En general, están dispuestos en **redes—lechos capilares—** entre las arteriolas y las vénulas (Figs. 1-12A y 1-13D). La sangre que fluye por el lecho capilar llega por las **arteriolas** y sale por las **vénulas**. A medida que la presión hidrostática en las arteriolas fuerza la sangre a través del lecho capilar, se intercambian oxígeno, nutrientes y otros materiales celulares con el tejido circundante. En algunas regiones, como en los dedos de las manos, existen conexiones directas entre las arterias pequeñas y las venas proximales a los lechos capilares que irrigan y drenan. Los sitios de estas comunicaciones—*anastomosis arteriovenosas (shunts AV)*— permiten que la sangre pase directamente desde el lado arterial al venoso de la circulación sin atravesar capilares. Las *comunicaciones AV son numerosas en la piel*, donde tienen un papel importante en la conservación del calor corporal.

#### SISTEMA LINFÁTICO

El sistema linfático forma parte del sistema circulatorio; la otra parte es el sistema cardio-



**FIGURA 1-14. Sistema linfático.** Vista anterior. El conducto linfático derecho drena linfa del lado derecho de la cabeza y el cuello y del miembro superior derecho (sombreado). El conducto torácico drena el resto del cuerpo. Los vasos linfáticos profundos se muestran a la derecha y los vasos linfáticos superficiales se muestran a la izquierda.

vascular. El sistema linfático es una amplia red de vasos sanguíneos **–linfáticos–** que están conectados con **ganglios linfáticos** –pequeñas masas de tejido linfático– (Fig. 1-14). El sistema linfático drena el exceso de líquido extracelular como **linfa**. La linfa en general es clara y acuosa y tiene los mismos componentes que el plasma sanguíneo. *El sistema linfático consiste en:*

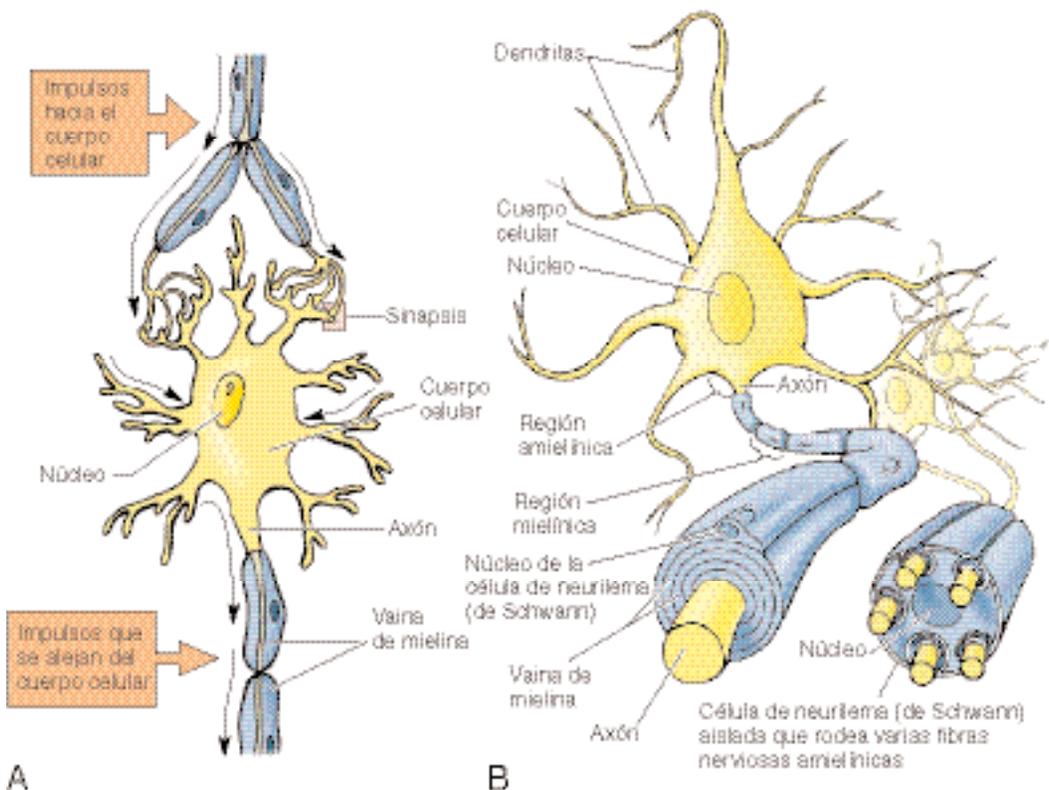
- Los **plexos linfáticos**, redes de vasos linfáticos muy pequeños *–capilares linfáticos–* que se originan en los espacios intercelulares de la mayoría de los tejidos.
- **Linfáticos**, una red de vasos linfáticos de todo el cuerpo, que se originan en los plexos linfáticos, a lo largo de los cuales se localizan los ganglios linfáticos.
- **Ganglios linfáticos**, pequeñas masas de tejido linfático a través de las cuales pasa la linfa en su camino hacia el sistema venoso.

- **Agregaciones de tejido linfoide** en las paredes del conducto alimentario o tubo digestivo y en el bazo y el timo.

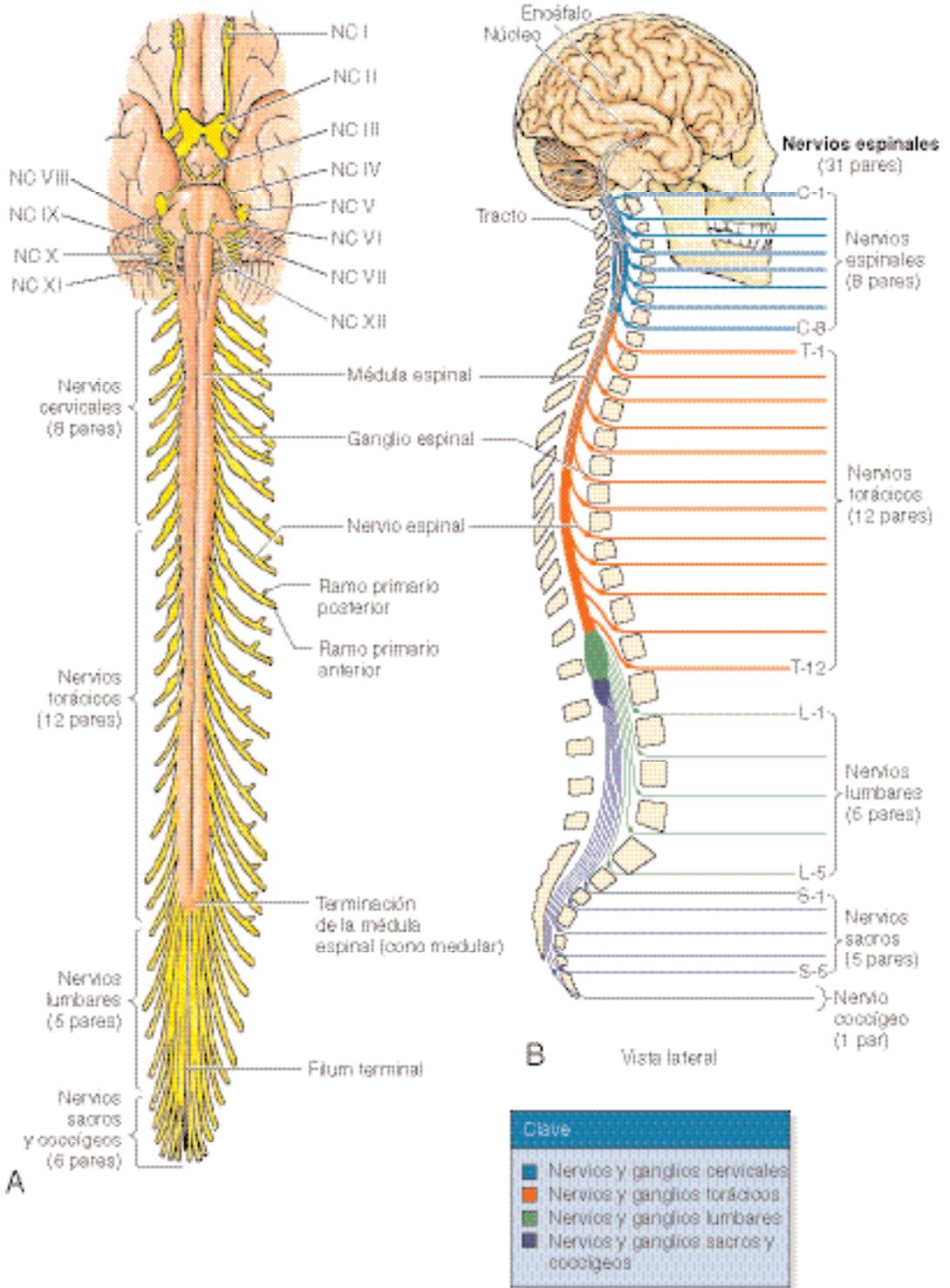
- **Linfocitos circulantes** formados en el *tejido linfoide*, como los ganglios linfáticos y el bazo, y en el *tejido mieloide* en la médula ósea roja.

Después de atravesar uno o más ganglios linfáticos, la linfa entra en los vasos linfáticos más grandes *–troncos linfáticos–* que se unen para formar ya sea el conducto torácico o el conducto linfático derecho (Fig. 1-14).

- El **conducto linfático derecho** drena linfa del cuadrante superior derecho del cuerpo: lado derecho de la cabeza y el cuello, el miembro superior derecho y la mitad derecha de la cavidad torácica. El conducto linfático derecho termina en la vena subclavia derecha en su ángulo de unión con la vena yugular interna derecha: el *ángulo venoso derecho*.



**FIGURA 1-15.** Estructura de una neurona motora. **A.** Partes de una neurona motora. **B.** Nervios mielínicos y amielínicos.



**FIGURA 1-16.** Organización básica del sistema nervioso. A. Vista anterior. NC, nervio craneano. B. Vista lateral.

- El **conducto torácico** drena linfa del resto del cuerpo. Este conducto comienza en el abdomen como un saco —**cisterna del quilo** (del latín, *cisterna chyli*)—y asciende a través del tórax y entra en la unión de las venas yugular interna izquierda y subclavia izquierda: el **ángulo venoso izquierdo**.

Los **vasos linfáticos superficiales** de la piel y el tejido subcutáneo finalmente drenan en **vasos linfáticos profundos** en la fascia profunda entre los músculos y el tejido subcutáneo; los vasos profundos acompañan a los vasos sanguíneos mayores.

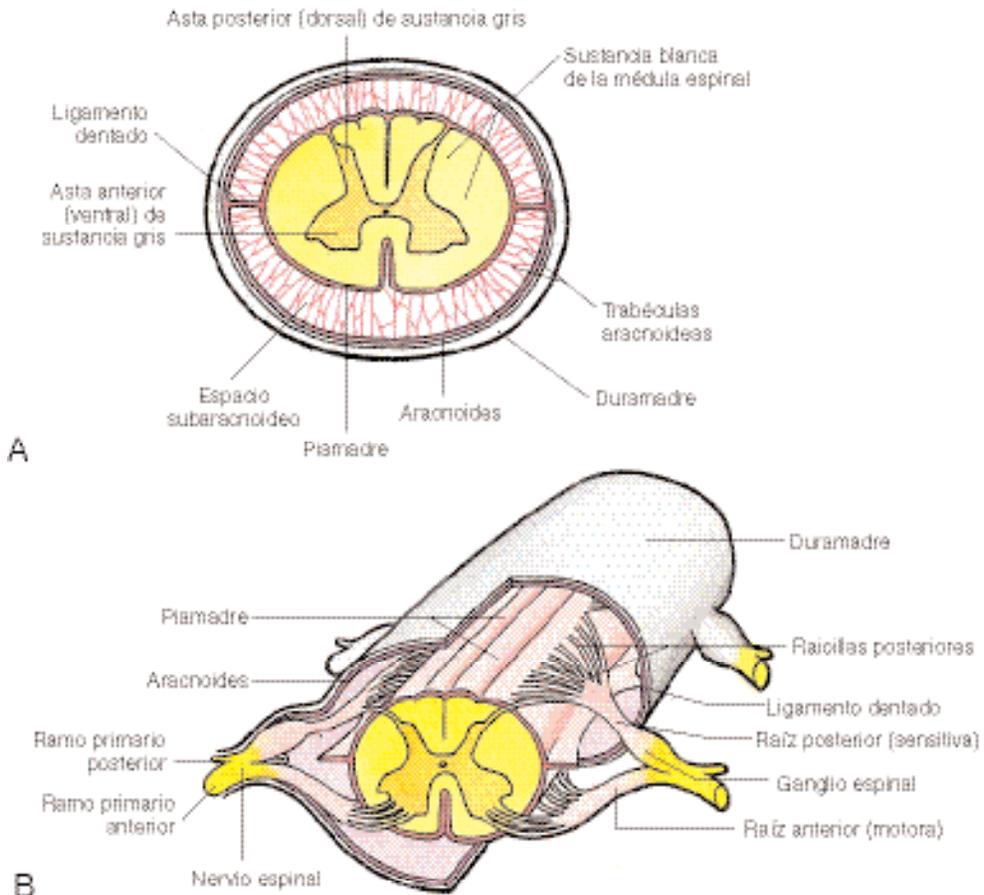
**Las funciones de los linfáticos incluyen:**

- **Drenaje de tejido linfático, recolección de plasma linfático de los espacios tisulares y transporte de linfa hacia el sistema venoso.**

- **Absorción y transporte de grasas**, en la cual unos capilares linfáticos especiales (*vasos quilíferos*) reciben toda la grasa absorbida (*quilo*) del intestino y la transportan a través del conducto torácico hasta el sistema venoso.
- **Formación de un mecanismo de defensa para el cuerpo**; cuando drenan proteínas extrañas desde un área infectada, las células inmunológicamente competentes y/o los linfocitos producen anticuerpos específicos contra la proteína y los envían hacia el área infectada.

**LINFANGITIS, LINFADENITIS Y LINFEDEMA**

Los términos *linfangitis* y *linfadenitis* se refieren a la inflamación de los vasos linfáticos y los ganglios linfáticos, respectivamente. Estos procesos patológicos pueden ocurrir cuando el sistema linfático está involucrado en la **metástasis** (diseminación) del cáncer: diseminación linfógena de células cancerosas. El *linfedema* —acumulación de líquido intersti-



**FIGURA 1-17.** Médula espinal y meninges. A. Corte transversal. B. Dibujo tridimensional.

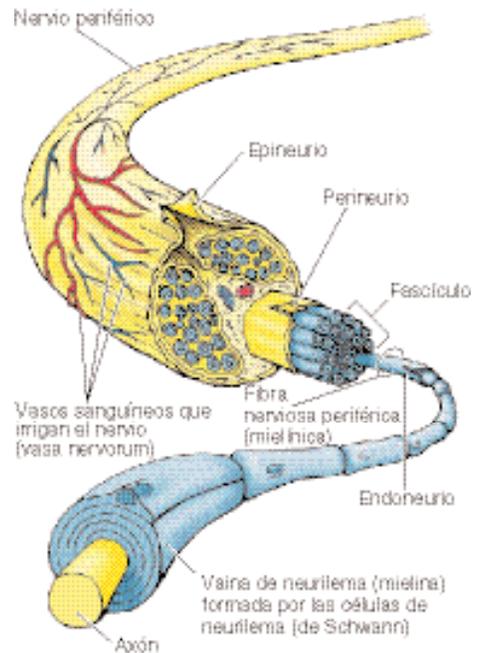
cial- ocurre cuando la linfa no es drenada de un área del cuerpo. Por ejemplo, cuando se extirpan quirúrgicamente *ganglios linfáticos cancerosos* de la axila, puede producirse linfedema del miembro.

## SISTEMA NERVIOSO

El sistema nervioso le permite al cuerpo reaccionar a los cambios continuos en su medioambiente externo e interno. Controla e integra distintas actividades del cuerpo, como la circulación y la respiración. *Con fines descriptivos, el sistema nervioso humano se divide:*

- Estructuralmente, en el *sistema nervioso central* (SNC) –el encéfalo y la médula espinal– y el *sistema nervioso periférico* (SNP) –fibras nerviosas y cuerpos celulares fuera del SNC; debido a sus localizaciones en el cráneo y la columna vertebral, respectivamente, el encéfalo y la médula espinal son los más protegidos en el cuerpo (Haines, 2001)
- Funcionalmente, en el *sistema nervioso somático* (SNS) –sistema nervioso voluntario– y el *sistema nervioso autónomo* (SNA) –sistema nervioso involuntario–.

El tejido nervioso consiste en dos tipos principales de células: **neuronas** (células nerviosas) y **neuroglia** (células de la glía no neuronales ni excitables). *La neurona es la unidad estructural y funcional del sistema nervioso especializada en la comunicación rápida* (Fig. 1-15). La neurona consiste en un **cuerpo celular** y prolongaciones –**dendritas** y un **axón**– que transmiten impulsos hacia el cuerpo celular y desde éste, respectivamente. La **mielina** –capas de sustancias lipídicas y proteicas– forman una **vaina de mielina** alrededor de algunos axones, lo cual aumenta mucho la velocidad de conducción del impulso. Las neuronas se comunican entre ellas en las **sinapsis**, puntos de contacto entre neuronas. La comunicación ocurre por medio de *neurotransmisores*, agentes químicos liberados o secretados por una neurona, que pueden excitar o inhibir a otra neurona, que continúa o termina el relevo de impulsos o la respuesta a ellos. Las células de la *neuroglia* son aproximadamente cinco veces más abundantes que las neuronas y forman un componente importante (andamiaje)



**FIGURA 1-18.** Disposición y envainamiento de las fibras nerviosas periféricas.

de tejido nervioso. *La neuroglia sostiene, aísla y nutre las neuronas.*

## SISTEMA NERVIOSO CENTRAL

El SNC consiste en el **encéfalo** y la **médula espinal** (Fig. 1-16). *Los principales papeles del SNC son:*

- Integrar y coordinar las señales neurales entrantes y salientes.
- Llevar a cabo las funciones mentales superiores como el pensamiento y el aprendizaje.

Una colección de cuerpos de células nerviosas en el SNC es un **núcleo** (Fig. 1-16B). Un haz de fibras nerviosas (axones) que conectan núcleos vecinos o distantes del SNC es un **tracto**. Los cuerpos de las células nerviosas se ubican dentro de la **sustancia gris** y la constituyen; los sistemas de tractos de fibras que interconectan forman la **sustancia blanca**. En los cortes transversales de la médula espinal, la sustancia gris se presenta más o menos como un área con forma de H introducida en una matriz de sustancia blanca (Fig. 1-17). Los tirantes (soportes) de

*Continúa*

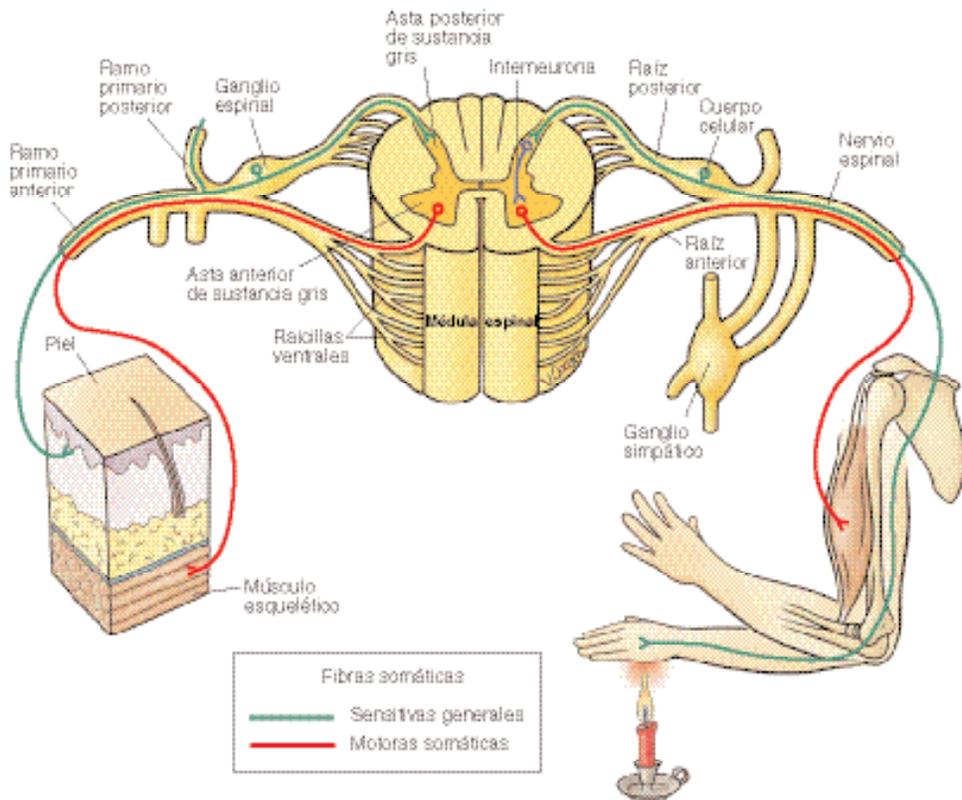
la H son **astas**; por lo tanto, existen las *astas grises posteriores (dorsales)* y *anteriores (ventrales)*. Tres capas membranosas –**piamadre**, **aracnoides** y **duramadre**– que en conjunto constituyen las **meninges** y el líquido cefalorraquídeo (**LCR**) rodean y protegen el SNC. El **encéfalo** y la **médula espinal** se encuentran íntimamente cubiertos sobre su superficie externa por la capa más interna, una cubierta delicada y transparente, la **piamadre**. El LCR se localiza entre la **piamadre** y la **aracnoides**; finas bandas similares a membranas –**trabéculas aracnoides**– se extienden a través del LCR, uniendo la **piamadre** y la **aracnoides**. Por fuera de la **piamadre** y la **aracnoides** se encuentra la gruesa y resistente **duramadre**, que está adherida a la superficie interna del cráneo, pero separada de la columna vertebral por el *espacio extradural (epidural)*.

#### DAÑO DEL SNC

Cuando el SNC se lesiona, los axones dañados no se recuperan en la mayoría de las circunstancias. Sus muñones proximales comienzan a regenerarse y envían brotes al área de la lesión; sin embargo, el crecimiento se detiene aproximadamente en dos semanas. En consecuencia, una discapacidad permanente sigue a la destrucción de un tracto del encéfalo o la médula espinal.

#### SISTEMA NERVIOSO PERIFÉRICO

El **SNP** consiste en *fibras nerviosas* y *cuerpos celulares ubicados fuera del SNC* que conducen impulsos hacia el SNC o desde él (Fig. 1-16). El SNP está compuesto por nervios que conectan el SNC con estructuras periféricas. Un haz de fibras nerviosas (axones) en el SNP, que se mantienen unidas por una vaina de tejido conectivo, es un **nervio periférico**, un cordón blanquecino y fuerte en las personas vivas. Una colección de cuerpos de células nerviosas fuera del SNC es un **ganglio**, un **ganglio espinal**, por ejemplo. Los



**FIGURA 1-19.** Componentes de los nervios somáticos (espinales). El sistema motor somático permite el movimiento voluntario y reflejo al producir la contracción de los músculos esqueléticos, tal como ocurre cuando se toca un hierro caliente.

*nervios periféricos son nervios craneanos o espinales.* Once de los doce pares de nervios craneanos se originan en el encéfalo; el duodécimo par (NC XII) se origina principalmente en la porción superior de la médula espinal. Todos los nervios craneanos abandonan la cavidad craneana a través de los agujeros (forámenes) en el cráneo (del griego *kranion*, cráneo). Los 31 pares de **nervios espinales** (8 cervicales, 12 torácicos, 5 lumbares, 5 sacros y 1 cóccigeo) nacen de la médula espinal y salen a través de los forámenes intervertebrales en la columna vertebral. Una **fibra de nervio periférico** (Fig. 1-18) consiste en:

- Un *axón*, la prolongación única de una neurona.
- Una *vaina de neurolema* que rodea una fibra de nervio periférico.
- El *endoneurio*, una vaina de tejido conectivo endoneural.

En condiciones normales, el **axón** conduce impulsos nerviosos lejos del cuerpo celular. La **vaina de neurolema** puede adoptar dos formas, lo cual crea dos clases de fibra nerviosa (Fig. 1-15B).

- Las *fibras nerviosas mielínicas* poseen una vaina de neurolema (mielina) que consiste en una serie continua de *células de neurolema* (*de Schwann*) que rodean un axón individual y forman mielina.
- Las *fibras nerviosas amielínicas* son fagocitadas en grupo por una única célula de neurolema que no produce mielina; la mayoría de las fibras de los nervios cutáneos son amielínicas.

Los nervios periféricos son bastante fuertes y resistentes porque las fibras nerviosas están sostenidas y protegidas por **tres cubiertas de tejido conectivo** (Fig. 1-18):

- *Endoneurio*, una delicada vaina de tejido conectivo que rodea las células del neurolema y los axones.
- *Perineurio*, que encierra un haz (fascículo) de fibras nerviosas periféricas y proporciona una barrera eficaz contra la penetración de las fibras nerviosas por sustancias extrañas.
- *Epineurio*, una vaina gruesa de tejido conectivo laxo que rodea y encierra los haces nerviosos, que forman la cubierta más externa del

nervio; incluye tejidos grasos, vasos sanguíneos y linfáticos.

Un nervio periférico es muy similar a un cable telefónico, donde los axones son los cables individuales aislados por la vaina de neurolema y el endoneurio, los alambres aislados forman un haz rodeado por el perineurio y los haces a su vez están rodeados a su vez por el epineurio que forma la envoltura externa del “cable”.

#### DEGENERACIÓN DE LOS NERVIOS PERIFÉRICOS

Cuando los nervios periféricos son aplastados o seccionados, sus axones se degeneran distalmente a la lesión porque dependen de sus cuerpos celulares para la supervivencia. Una *lesión nerviosa por aplastamiento* daña o destruye los axones distales al sitio de la lesión; sin embargo, los cuerpos celulares suelen sobrevivir y las coberturas de tejido conectivo del nervio están intactas. No se necesita ninguna reparación quirúrgica para este tipo de lesión nerviosa porque las vainas de tejido conectivo intacto guían a los axones en crecimiento a sus destinos. *La intervención quirúrgica se necesita cuando el nervio es seccionado* porque la regeneración de los axones requiere la aposición de los extremos seccionados mediante suturas a través del epineurio. Los haces individuales de fibras nerviosas vuelven a alinearse con tanta precisión como sea posible. El compromiso de la irrigación de un nervio durante un período prolongado, que produce *isquemia* secundaria a la compresión de los *vasa nervorum* (Fig. 1-18), también puede causar degeneración del nervio. La isquemia prolongada de un nervio puede conducir a un daño no menos grave que el producido por el aplastamiento o incluso la sección del nervio.

#### Sistema nervioso somático

El SNS, o sistema nervioso voluntario, compuesto por las porciones somáticas del SNC y el SNP, proporciona inervación general somática y motora a todas las partes del cuerpo (del griego, *soma*), salvo a las vísceras de las cavidades corporales, el músculo liso y las glándulas (Fig. 1-19). El *sistema sensitivo somático* transmite las sensaciones de tacto, dolor, temperatura y posición desde los receptores sensitivos. El *sistema motor somático* permite el movimiento voluntario y reflejo al causar la contracción de los músculos esqueléticos, como ocurre cuando se toca la llama de una vela.

#### Sistema nervioso autónomo

El SNA, clásicamente descrito como el *sistema motor visceral*, consiste en fibras que inervan el músculo involuntario (liso), el músculo cardíaco-

**CUADRO 1-6. FUNCIONES DEL SISTEMA NERVIOSO AUTÓNOMO (SNA)**

Órgano, tracto o sistema		Efecto de la estimulación simpática <sup>a</sup>	Efecto de la estimulación parasimpática <sup>b</sup>
Ojos	Pupila	Dilata la pupila (permite el ingreso de más luz para aumentar la agudeza visual a cierta distancia)	Contrae la pupila (protege la pupila de la luz excesivamente brillante)
	Cuerpo ciliar		Contrae el músculo ciliar, lo cual permite el engrosamiento del cristalino para la visión cercana (acomodación)
Piel	Músculo erector del pelo	Erizan los pelos ("piel de gallina")	Sin efecto (no llega allí) <sup>c</sup>
	Vasos sanguíneos periféricos	Produce vasoconstricción (blanqueamiento de la piel, los labios y tornan azules las puntas de los dedos)	Sin efecto (no llega allí) <sup>c</sup>
Otras glándulas	Glándulas sudoríparas	Promueve la sudación <sup>d</sup>	Promueve la secreción
	Glándulas lagrimales		
Corazón	Glándulas salivales	Disminuye ligeramente la secreción <sup>e</sup>	Promueve una secreción abundante y acuosa
		Disminuye la secreción, la torna más espesa y más viscosa <sup>e</sup>	Disminuye la frecuencia y la fuerza de contracción (conserva energía); constriñe los vasos coronarios en relación con una demanda reducida
Pulmones		Aumenta la frecuencia y la fuerza de contracción; inhibe el efecto del sistema parasimpático sobre los vasos coronarios, lo cual les permite dilatarse <sup>e</sup>	Contrae los bronquios (conserva energía) y promueve la secreción bronquial
Tracto digestivo		Inhibe el efecto del sistema parasimpático, que conduce a broncodilatación y menor secreción, lo cual permite el intercambio de aire máximo	Estimula el peristaltismo y la secreción de jugos digestivos
			Contrae el recto, inhibe el esfínter anal interno para producir defecación
Hígado y vesícula		Inhibe el peristaltismo y constriñe los vasos sanguíneos del tracto digestivo de modo que la sangre esté disponible para el músculo esquelético; contrae el esfínter anal interno para ayudar a la continencia fecal	
Tracto urinario			Promueve la elaboración/conservación de glucógeno; aumenta la secreción de bilis
			Inhibe la contracción del esfínter vesical interno, contrae el músculo detrusor de la pared vesical para producir la micción
Sistema genital		Promueve la degradación del glucógeno a glucosa (para mayor energía)	
Médula supra-		La vasoconstricción de los	

*Principios generales subyacentes:*

<sup>a</sup>En general, los efectos de la estimulación simpática son catabólicos: preparan al cuerpo para la lucha o la huida.

<sup>b</sup>En general, los efectos de la estimulación parasimpática son anabólicos: promueven la función normal y conservan energía.

<sup>c</sup>El sistema parasimpático está restringido en su distribución a la cabeza, el cuello y las cavidades corporales (con excepción de los tejidos eréctiles de los genitales); por otra parte, las fibras parasimpáticas nunca se encuentran en la pared corporal y los miembros. En comparación, las fibras simpáticas, están distribuidas en todas las partes vascularizadas del cuerpo.

<sup>d</sup>Con excepción de las glándulas sudoríparas, la secreción glandular es estimulada por el sistema parasimpático.

co modificado (el tejido de estimulación y conducción intrínseco del corazón [cap. 3]) y las glándulas. Sin embargo, las fibras eferentes viscerales (motoras) del SNA están acompañadas por fibras aferentes viscerales (sensitivas). En su papel como componente aferente de los reflejos autónomos y en la conducción de los impulsos dolorosos viscerales, las fibras sensitivas también regulan la función visceral.

**Sensibilidad aferente visceral.** Las fibras aferentes viscerales tienen relaciones importantes con el SNA, tanto anatómicas como funcionales. En general, no somos conscientes de las aferentes sensitivas de estas fibras, que proporcionan información acerca del estado del medio interno del cuerpo. Esta información es integrada en el SNC, que a menudo desencadena reflejos viscerales, somáticos o ambos. *Los reflejos viscerales regulan la presión arterial y la química al modificar funciones como las frecuencias cardíaca y respiratoria y la resistencia vascular.* La sensibilidad visceral, que alcanza un nivel consciente, generalmente se categoriza como dolor que suele ser mal localizado y puede ser percibido como hambre o náuseas. Los cirujanos que operan a los pacientes con anestesia local pueden manipular, cortar, pinzar o incluso quemar (cauterizar) órganos viscerales sin evocar sensibilidad consciente. Sin embargo, una estimulación adecuada como las siguientes puede producir verdadero dolor:

- Distensión súbita.
- Espasmos o contracciones fuertes.
- Sustancias químicas irritantes.
- Estimulación mecánica, sobre todo cuando el órgano es activo.
- Estados patológicos (sobre todo la *isquemia*: irrigación insuficiente) que reducen los umbrales normales de estimulación.

La actividad normal no suele producir ninguna sensación pero puede hacerlo cuando hay isquemia. La mayor parte de la sensibilidad refleja visceral (subconsciente) y cierto dolor se transmiten en las fibras aferentes viscerales que acompañan en forma retrógrada (movimiento hacia atrás) a las fibras parasimpáticas. La mayor parte de los impulsos dolorosos viscerales (desde el corazón y la mayoría de los órganos de la cavidad peritoneal) discurren centralmente a lo largo de las fibras aferentes viscerales que acompañan a las fibras simpáticas.

**Inervación motora visceral.** Las fibras nerviosas eferentes y los ganglios del SNA están organizados en dos sistemas o divisiones:

- **División simpática (toracolumbar).** En general, los efectos de la estimulación simpática son *catabólicos* –preparan al cuerpo para la “huida o la lucha”–.
- **División parasimpática (craneosacra).** En general, los efectos de la estimulación para-

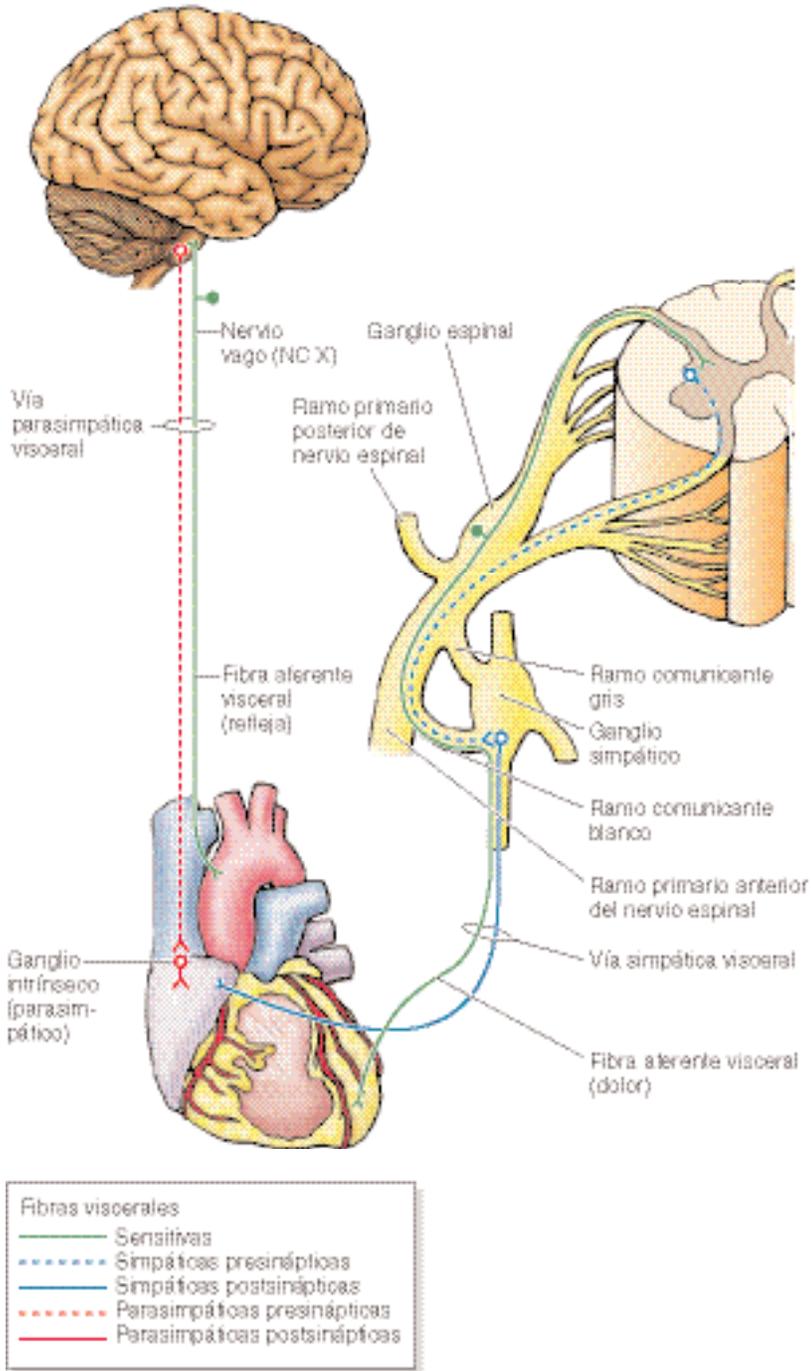
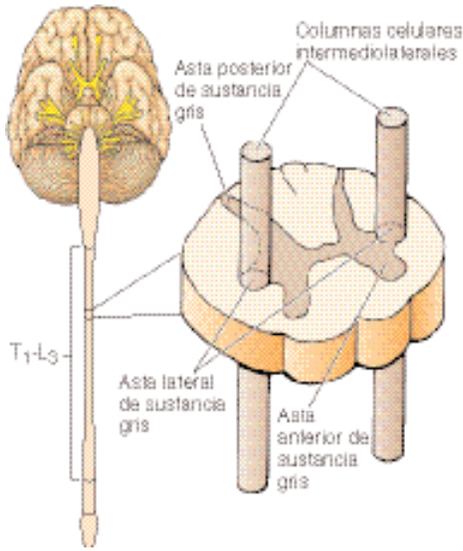


FIGURA 1-20. Inervación simpática y parasimpática del corazón.

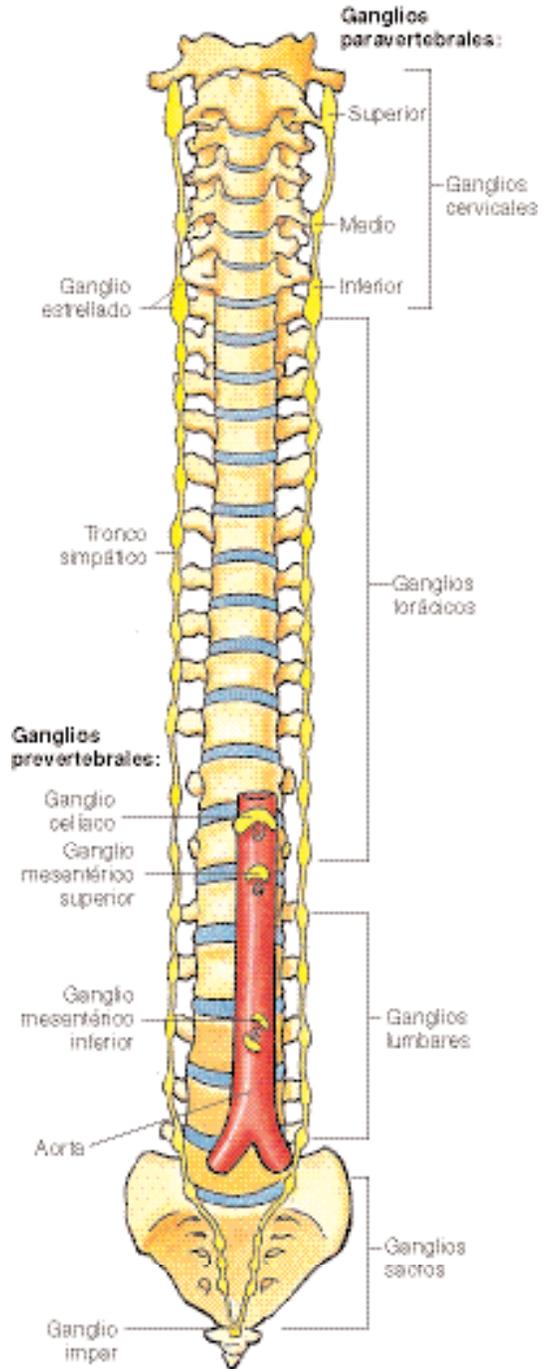


**FIGURA 1-21. Columnas celulares intermediolaterales.** El par de columnas intermediolaterales o núcleos constituyen el asta lateral de sustancia gris, que se observa en el corte de los segmentos medulares T1 a L2 o L3, y consiste en los cuerpos celulares de las neuronas presinápticas del sistema nervioso simpático.

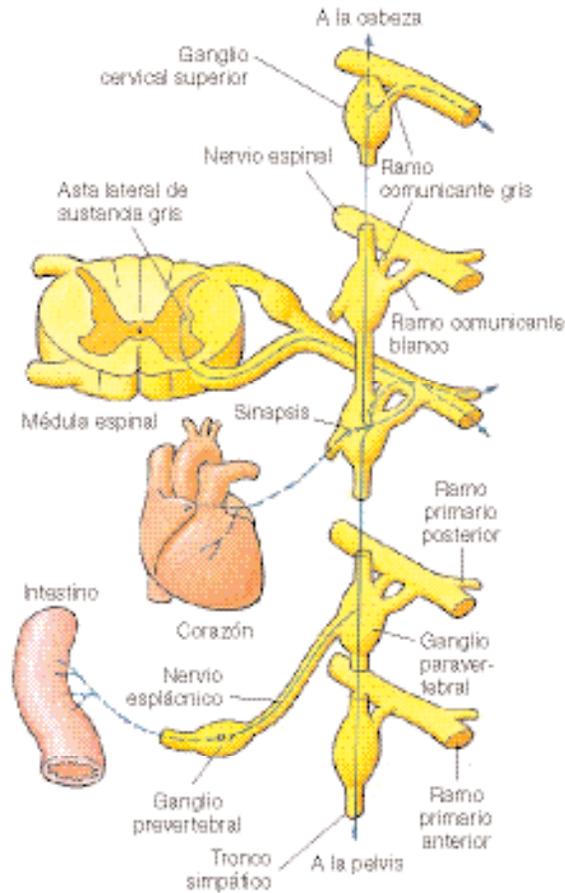
simpática son *anabólicos*: promueven la función normal y conservan energía.

Aunque tanto el sistema simpático como el parasimpático inervan las mismas estructuras, tienen efectos diferentes (habitualmente opuestos) pero coordinados (Cuadro 1-6).

La conducción de los impulsos desde el SNC hasta el órgano efector comprende una serie de dos neuronas en los sistemas simpático y parasimpático. El cuerpo celular de la *primera neurona presináptica o preganglionar* se localiza en la sustancia gris del SNC. Su fibra (axón) sólo hace sinapsis con los cuerpos celulares de las *neuronas postsinápticas o posganglionares*, las segundas neuronas en la serie. Los cuerpos celulares de las *segundas neuronas se localizan en los ganglios autónomos* fuera del SNC y las fibras terminan sobre el órgano efector (músculo liso, músculo cardíaco modificado o glándulas). *La distinción entre las dos divisiones del SNA se basa fundamentalmente sobre la localización de los cuerpos de las células presinápticas.* Una distinción funcional de importancia farmacológica en la práctica médica es que las neuronas postsinápticas de los dos sistemas generalmente



**FIGURA 1-22. Ganglios linfáticos.** Los *ganglios paravertebrales* se asocian con todos los nervios espinales aunque en los niveles cervicales ocho nervios espinales comparten tres ganglios. Los *ganglios prevertebrales (preaórticos)* se presentan en los plexos que rodean los orígenes de las ramas principales



**FIGURA 1-23.** Origen y distribución de las fibras motoras simpáticas. *Lineas sólidas*, fibras pre-sinápticas; *lineas quebradas*, fibras post-sinápticas.

liberan diferentes sustancias neurotransmisoras: *noradrenalina* en la división simpática (salvo en el caso de las glándulas sudoríparas) y *acetilcolina* en la división parasimpática.

**COMPONENTES DE UN NERVIOS ESPINAL TÍPICO.** Un nervio espinal típico nace de la médula espinal a través de **raicillas nerviosas**, que convergen para formar dos **raíces nerviosas** (Fig. 1-19): la **raíz anterior (ventral)** y la **raíz posterior (dorsal)**. Las raíces anterior y posterior se unen para formar un **nervio espinal mixto** que inmediatamente se divide en dos ramos (ramas): un **ramo primario posterior** y un **ramo primario anterior**. Como ramas del nervio espinal mixto, los ramos posterior y anterior llevan tanto nervios motores como sensitivos, al igual que todas sus ramas ulteriores.

- Los **ramos primarios posteriores** aportan fibras nerviosas a las articulaciones sinoviales

de la columna vertebral, los músculos profundos del dorso y la piel que los cubre.

- Los **ramos primarios anteriores** aportan fibras nerviosas al área restante mucho más grande, que consiste en las regiones anterior y lateral del tronco y los miembros superiores e inferiores que se originan en ellas.

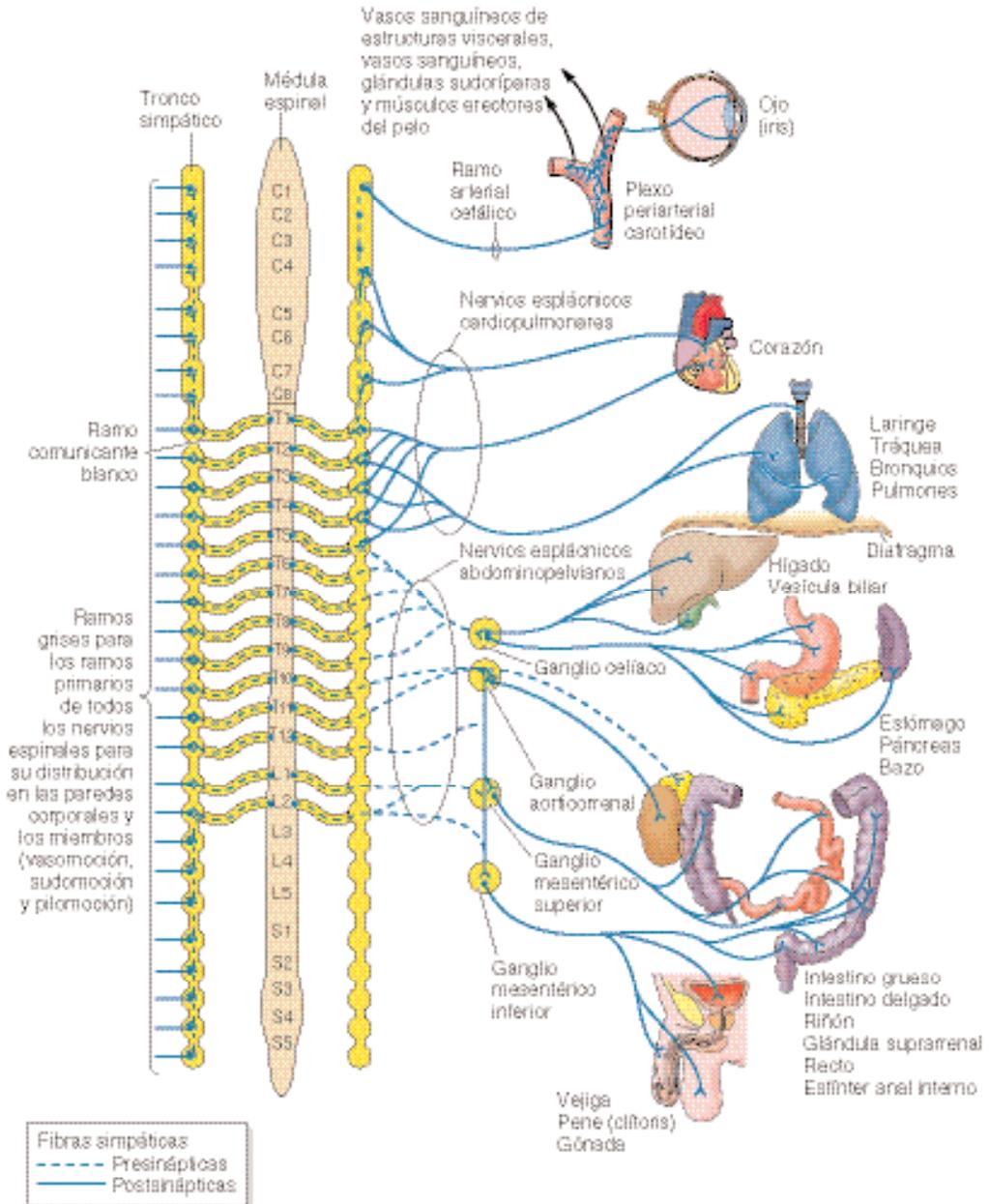
Las *fibras aferentes* o *sensitivas* transmiten impulsos nerviosos al SNC desde los órganos de los sentidos (p. ej., los ojos) y desde receptores sensitivos en varias partes del cuerpo (p. ej., en la piel). Sus *fibras eferentes* o *motoras* transmiten impulsos nerviosos desde el SNC hasta los órganos efectores (músculos y glándulas).

La raíz anterior contiene fibras motoras somáticas desde los cuerpos de las células nerviosas en el asta anterior de la médula espinal. La raíz dorsal transporta fibras sensitivas generales

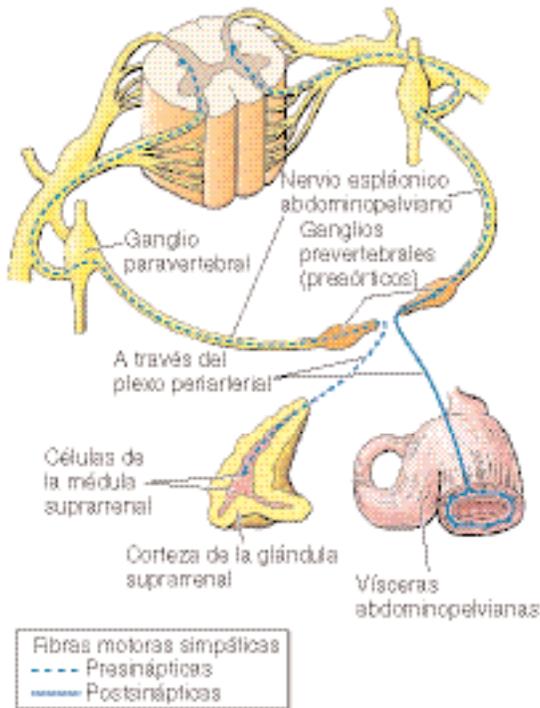
hasta el asta posterior de la médula espinal. Como ramas de un *nervio espinal mixto*, los ramos primarios anterior y posterior transportan tanto nervios motores como sensitivos, al igual que todas sus ramas. *Los componentes de un nervio espinal típico incluyen:*

• **Fibras sensitivas y fibras motoras somáticas**

– Las fibras *sensitivas generales (aférentes somáticas generales)* transmiten sensaciones del cuerpo a la médula espinal; pueden ser *sensaciones exteroceptivas* (dolor, temperatura, tacto y presión) de la piel o sensaciones de dolor y propioceptivas de los músculos, los tendones y las articulaciones. Las *sensaciones propioceptivas* son sensaciones



**FIGURA 1-24.** Distribución de las fibras nerviosas simpáticas postsinápticas.



**FIGURA 1-25.** Inervación simpática de la médula de la glándula suprarrenal. La inervación simpática de esta glándula es excepcional. Las células secretoras de la médula son neuronas postsinápticas que carecen de axones o dendritas. En consecuencia, la médula suprarrenal está inervada directamente por neuronas simpáticas presinápticas. Los neurotransmisores producidos por las células medulares son liberados en el torrente sanguíneo para producir una respuesta simpática difusa.

inconscientes que transmiten información sobre la posición articular y la tensión de tendones y músculos y proporcionan información sobre la forma en que el cuerpo y los miembros se orientan en el espacio.

– Las *fibras motoras somáticas (eferentes somáticas generales)* transmiten impulsos a los músculos esqueléticos (voluntarios) (Fig. 1-19).

• **Fibras sensitivas y fibras motoras viscerales** de los sistemas nerviosos simpático y parasimpático

– Las *fibras sensitivas viscerales (aferentes viscerales generales)* transmiten sensaciones reflejas o dolorosas desde las membranas

mucosas, las glándulas y los vasos sanguíneos hacia el SNC. Ambos tipos de fibras sensitivas –sensitivas viscerales y sensitivas generales– tienen sus cuerpos celulares dentro de los ganglios espinales o los ganglios sensitivos de los nervios craneanos.

– Las *fibras motoras viscerales (eferentes viscerales generales)* transmiten impulsos al músculo involuntario (liso y cardíaco) y a los tejidos glandulares. Las dos variedades de fibras –*presinápticas* y *postsinápticas*– actúan en conjunto para conducir impulsos desde el SNC hacia el músculo liso o las glándulas (Fig. 1-20).

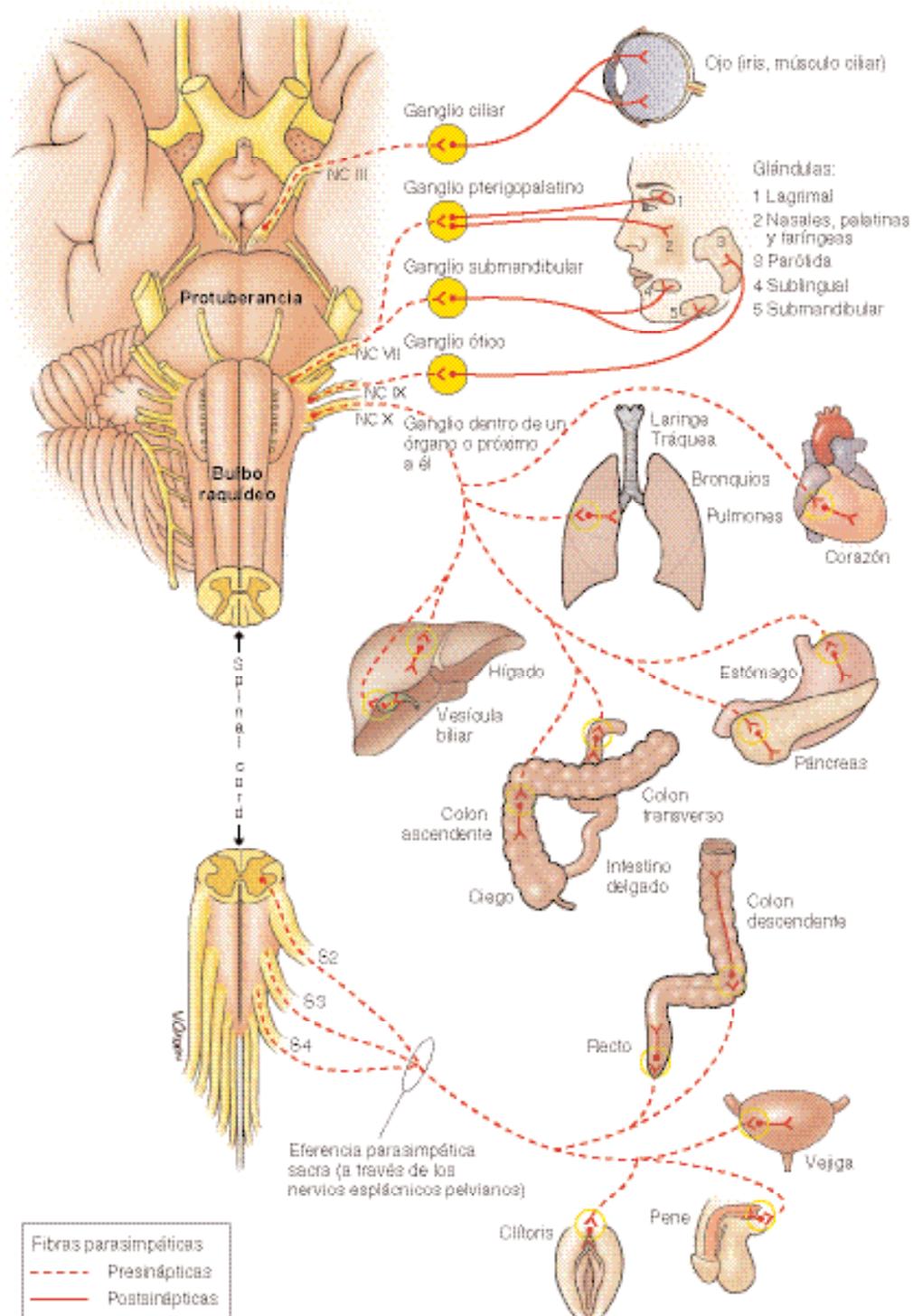
• **Cubiertas de tejido conectivo** (Fig. 1-18).

• **Vasa nervorum**, los vasos sanguíneos que irrigan los nervios.

**INERVAÇÃO MOTORA VISCERAL SIMPÁTICA.** Los cuerpos celulares de las neuronas presinápticas de la división simpática del SNA se localizan en las **columnas celulares intermediolaterales** o el núcleo intermediolateral de la médula espinal (Fig. 1-21). El par de columnas intermediolaterales (derecha e izquierda) forman parte de la sustancia gris que se extiende entre el primer segmento torácico (T1) y el segundo o el tercer segmentos lumbares (L2 o L3) de la médula espinal. En cortes horizontales de esta porción de la médula espinal, las columnas intermediolaterales aparecen como pequeñas **astas laterales** de sustancia gris con forma de H, con un aspecto algo similar a una extensión de la barra transversal de la H entre las astas posterior y anterior de sustancia gris. Los cuerpos celulares de las neuronas postsinápticas del sistema nervioso simpático se presentan en dos localizaciones, los ganglios paravertebrales y prevertebrales (Fig. 1-22):

• Los **ganglios paravertebrales** se relacionan para formar los *troncos (cadenas) simpáticos* derecho e izquierdo a cada lado de la columna vertebral que se extienden esencialmente en toda la longitud de esta columna. El ganglio paravertebral superior –el **ganglio cervical superior** de cada tronco simpático– se ubica en la base del cráneo. El **ganglio impar** se forma caudalmente donde se unen los dos troncos a nivel del cóccix.

• Los **ganglios prevertebrales** se ubican en los plexos que rodean los orígenes de las principales ramas de la aorta abdominal, como los gran-

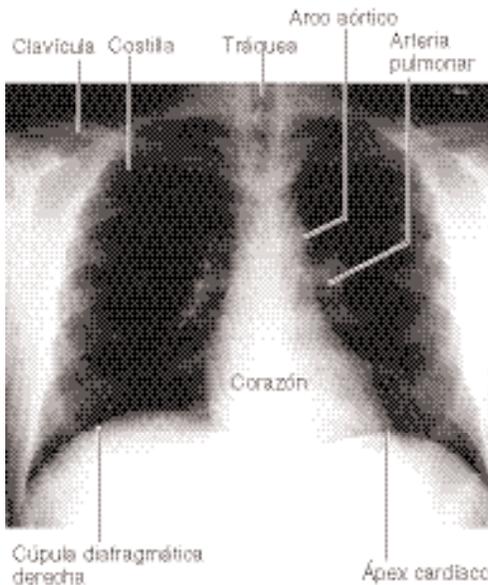


**FIGURA 1-26.** Distribución de las fibras nerviosas parasimpáticas.

des **ganglios celíacos**, que rodean el origen del *tronco* (arteria) *celíaco* que nace de la aorta.

Dado que son fibras motoras, los axones de las neuronas presinápticas abandonan la médula espinal a través de las raíces anteriores y entran en los ramos anteriores de los nervios espinales T1 a L2 o L3 (Fig. 1-23). Casi inmediatamente después de entrar en los ramos, todas las fibras simpáticas presinápticas abandonan los ramos primarios anteriores de estos nervios espinales y pasan a los **troncos simpáticos** a través de ramas comunicantes blancas o **ramos comunicantes blancos**. Dentro de los troncos simpáticos, las fibras presinápticas siguen uno de tres recorridos posibles:

- Ingresan e inmediatamente hacen sinapsis con una neurona postsináptica del ganglio paravertebral a ese nivel.
- Ascienden o descienden en el tronco simpático para hacer sinapsis con una neurona postsináptica de un ganglio paravertebral más alto o más bajo.
- Atraviesan el tronco simpático sin hacer sinapsis y continúan a través de un nervio es-



**FIGURA 1-27.** Radiografía del tórax. Proyección posteroanterior (PA). (Cortesía del Dr. E. L. Lansdown, Profesor de Imágenes Médicas, University of Toronto, Toronto,

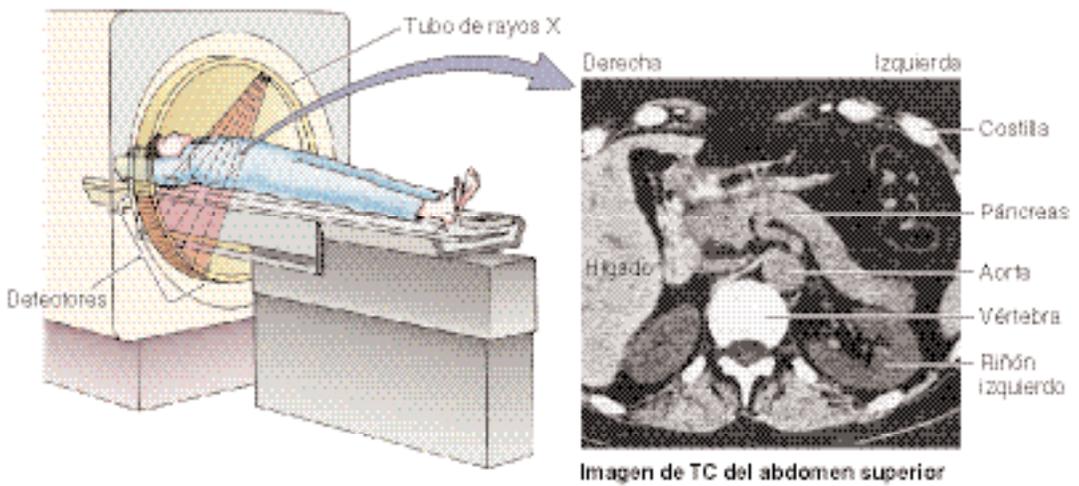
**CUADRO 1-7. PRINCIPIOS BÁSICOS DE LA FORMACIÓN DE IMÁGENES EN LOS RAYOS X**

Más radiolúcido	Aire Grasa Agua y la mayoría de los tejidos Hueso esponjoso	Hueso compacto
↓		↓
Menos radiolúcido	Menos radiodenso	Más radiodenso

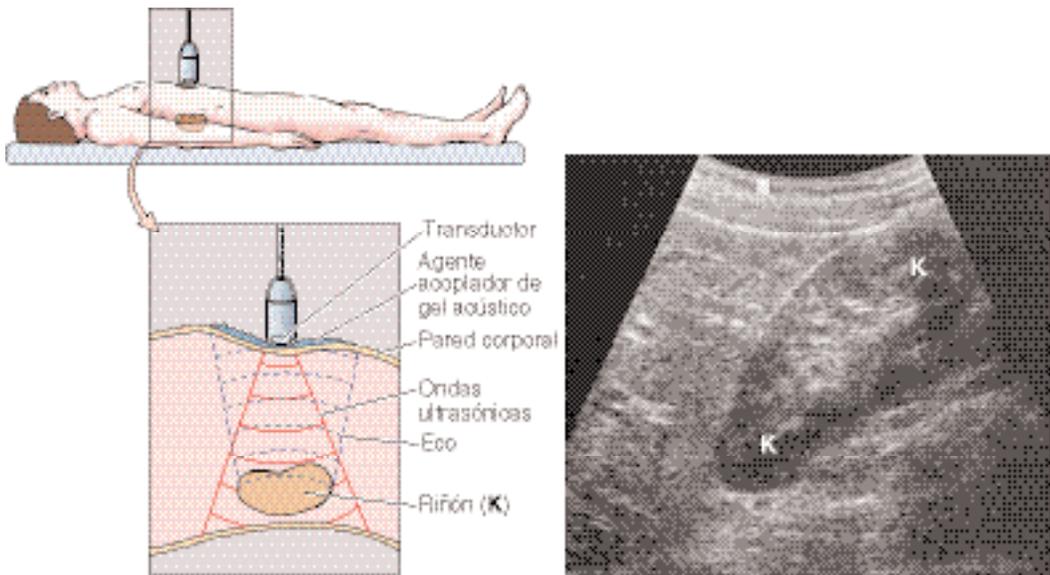
plácrico abdominopelviano para alcanzar los ganglios prevertebrales.

Las **fibras simpáticas presinápticas** que proporcionan inervación autónoma en la cabeza, el cuello, la pared del cuerpo, los miembros y la cavidad torácica siguen uno de los dos primeros recorridos, haciendo sinapsis en los ganglios paravertebrales. Las fibras simpáticas presinápticas que inervan las vísceras dentro de la cavidad abdominopelviana siguen el tercer recorrido.

Las **fibras simpáticas postsinápticas** destinadas a la distribución dentro del cuello, la pared corporal y los miembros pasan desde los ganglios paravertebrales de los troncos simpáticos a los ramos anteriores adyacentes de los nervios espinales (Fig. 1-24) a través de ramas comunicantes grises o **ramos comunicantes grises**. Ingresan en todas las ramas del nervio espinal, incluidos los ramos primarios posteriores, para estimular la contracción de los vasos sanguíneos (*vasomoción*) y los músculos erectores del pelo asociados con los pelos (*pilomoción* que da por resultado la “piel de gallina”) y para producir la transpiración (*sudomoción*). Todas las fibras simpáticas postsinápticas que realizan estas funciones en la cabeza (más la inervación del músculo dilatador del iris) tienen sus cuerpos celulares en el **ganglio cervical superior** en el extremo superior del tronco simpático. Estas fibras pasan por medio de un *ramo arterial cefálico* para formar un **plexo periarterial carotídeo** (Fig. 1-24), que siguen a las ramas de las arterias carótidas hasta su destino.



**FIGURA 1-28. TC del abdomen superior.** El tubo de rayos X rota alrededor de la persona en el tomógrafo y envía un haz de rayos X en forma de abanico a través del abdomen superior de la persona desde distintos ángulos. Los detectores de rayos X del lado opuesto del cuerpo de la persona miden la cantidad de radiación que atraviesa un corte transversal de la persona. Una computadora reconstruye las imágenes de la TC de varios barridos y se obtiene una tomografía abdominal. El tomógrafo se orienta de modo que parezca el camino que un examinador visualizaría si se parara al pie de la cama y mirara hacia la cabeza de una persona en decúbito dorsal.

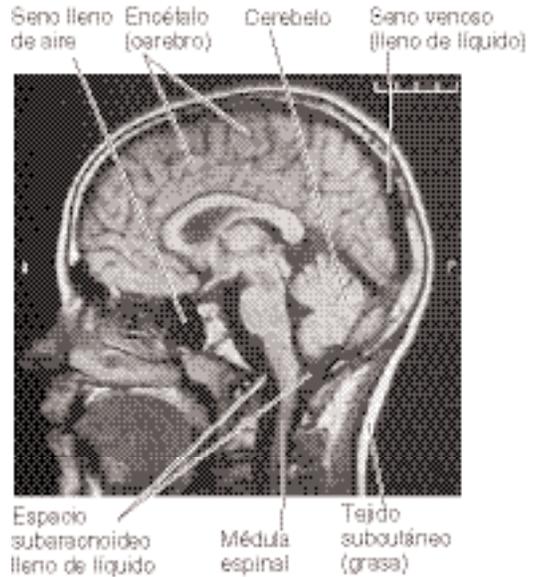


**FIGURA 1-29. Ecografía del abdomen superior.** La imagen es el resultado del eco de las ondas ultrasónicas provenientes de estructuras de diferentes densidades. La imagen del riñón derecho se exhibe en un monitor.

Los **nervios esplácnicos** (Figs. 1-23 y 1-24) transportan fibras aferentes (autónomas) y eferentes viscerales hasta las vísceras de las cavidades corporales. Las fibras simpáticas postsinápticas destinadas a las vísceras de la cavidad torácica (p. ej., corazón, pulmones y esófago) atraviesan los **nervios esplácnicos cardiopulmonares** para entrar en los plexos cardíaco, pulmonar y esofágico. Las fibras simpáticas presinápticas involucradas en la inervación de las vísceras de la cavidad abdominopelviana (p. ej., el estómago y los intestinos) pasan hacia los ganglios prevertebrales a través de **nervios esplácnicos abdominopelvianos** (que comprenden los nervios esplácnicos mayor, menor, mínimo y lumbar). Todas las fibras simpáticas presinápticas de los nervios esplácnicos abdominopelvianos, excepto las involucradas en la inervación de las glándulas suprarrenales, hacen sinapsis en los ganglios prevertebrales. Las fibras postsinápticas provenientes de estos ganglios forman *plexos periarteriales*, que siguen las ramas de la aorta abdominal para alcanzar su destino.

Las fibras simpáticas presinápticas que pasan a través de los ganglios prevertebrales (celíacos) terminan en células de la médula de la glándula suprarrenal (Fig. 1-25). Las células de la médula suprarrenal funcionan como un tipo especial de neurona postsináptica, en lugar de liberar su sustancia neurotransmisora en las células de un órgano efector específico, la liberan en el torrente sanguíneo para que circule en todo el cuerpo y producen una respuesta simpática difusa. Tal como ya se describió, las fibras simpáticas postsinápticas son componentes de prácticamente todas las ramas de todos los nervios espinales. Por este medio y otros, se extienden a todos los vasos sanguíneos, las glándulas sudoríparas y muchas otras estructuras del cuerpo, inervándolos. Por lo tanto, el sistema nervioso simpático alcanza casi todas las partes del cuerpo con la rara excepción de los tejidos avasculares como el cartílago y las uñas.

**INERVIACIÓN MOTORA VISCERAL PARASIMPÁTICA.** Los cuerpos celulares de las neuronas parasimpáticas presinápticas se localizan en dos sitios dentro del SNC y sus fibras salen por dos vías (Fig. 1-26):



- En la sustancia gris del tronco encefálico (bulbo raquídeo, protuberancia y mesencéfalo) las fibras abandonan el SNC dentro de los nervios craneales III, VII, IX y X; estas fibras constituyen la **eferencia parasimpática craneana**.
- En la sustancia gris de los segmentos sacros de la médula espinal (S2 a S4), las fibras abandonan el SNC a través de las raíces ventrales de los nervios espinales S2 a S4 y los nervios esplácnicos pelvianos que se originan en sus ramos ventrales; estas fibras constituyen la **eferencia parasimpática sacra**.

No es sorprendente que la eferencia craneana proporcione la inervación parasimpática de la cabeza y la eferencia sacra proporcione la inervación parasimpática de las vísceras pelvianas. Sin embargo, en términos de la inervación de las vísceras torácicas y abdominales, la eferencia craneana a través del nervio vago (NC X) es dominante. Proporciona inervación a todas las vísceras torácicas y a la mayor parte del tracto gastrointestinal (GI) desde el esófago a través de la mayor parte del intestino grueso (hasta su ángulo colónico izquierdo). Con respecto al tracto GI, la eferencia sacra inerva sólo el colon descendente y sigmoide y el recto.

Sin tener en cuenta la influencia extensa de su eferencia craneana, el sistema parasimpático es mucho más restringido en su distribución que el sistema simpático. El sistema parasimpático sólo se distribuye en la cabeza, las cavidades viscerales del tronco y los tejidos eréctiles de los genitales externos. Con excepción de los últimos, no alcanza la pared corporal ni los miembros y, con excepción de las porciones iniciales de los ramos primarios anteriores de los nervios espinales S2 a S4, sus fibras no son componentes de los nervios espinales o sus ramas.

En la cabeza se presentan cuatro pares separados de ganglios parasimpáticos (véanse Caps. 8 y 10). En otros sitios, las fibras parasimpáticas presinápticas hacen sinapsis con cuerpos celulares postsinápticos que se presentan aislados dentro de la pared del órgano blanco o sobre ella (*ganglios intrínsecos o entéricos*).

## TÉCNICAS DE IMÁGENES MÉDICAS

La familiaridad con las técnicas de imágenes de uso común en circunstancias clínicas permite reconocer anomalías como anomalías congénitas, tumores y fracturas. Las técnicas de imágenes diagnósticas utilizadas con más frecuencia son las siguientes:

- Radiografía convencional (radiografías simples).
- Tomografía computarizada (TC).
- Resonancia magnética (RM).
- Ultrasonografía (ecografía).

### RADIOGRAFÍA CONVENCIONAL

La esencia de un examen radiológico es que un haz de rayos X altamente penetrante transilumina al paciente y muestra los tejidos de diferentes densidades de masa dentro del cuerpo como imágenes de distintas densidades de claro y oscuro en la radiografía (Fig. 1-27). Un tejido u órgano que tiene una masa relativamente densa (p. ej., hueso compacto en la costilla) absorbe más rayos X que un tejido menos denso como un hueso esponjoso (Cuadro 1-7). En conse-

cuencia, un tejido u órgano denso produce un área relativamente transparente en la radiografía porque relativamente menos rayos X alcanzan la tablilla de plata/emulsión de gelatina en la película. Por lo tanto, se desarrollan relativamente menos granos de plata en esta área cuando se procesa la película. Una sustancia muy densa es *radioopaca*, mientras que una sustancia de menor densidad es *radiolúcida*.

### TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA

La tomografía computarizada (TC) muestra imágenes de cortes del cuerpo como el abdomen (Fig. 1-28). A medida que el tubo de rayos X se mueve en un círculo alrededor del cuerpo, un haz de rayos X lo atraviesa. La cantidad de radiación absorbida por cada tipo diferente de tejido del plano corporal elegido varía con la cantidad de grasa, el hueso esponjoso y compacto y la densidad acuosa del tejido en cada elemento. Se miden numerosas absorciones de energía lineal que se almacena en una computadora que acumula y genera imágenes. La TC es excelente para examinar los tejidos óseos.

### ECOGRAFÍA

La ecografía proporciona imágenes de las estructuras profundas en el cuerpo mediante el registro de las reflexiones de pulsos de ondas ultrasónicas dirigidas hacia los tejidos (Fig. 1-29). Un uso frecuente de las imágenes de la ecografía diagnóstica es el examen de órganos abdominales, como los riñones, y la evaluación de la edad y la salud fetales durante el embarazo.

### RESONANCIA MAGNÉTICA

La resonancia magnética (RM) muestra imágenes del cuerpo (Fig. 1-30) similares a las producidas por la TC ya que son planares, pero son mejores para la diferenciación tisular. La RM tiene la gran ventaja de que no requiere radiación. La técnica de la RM utiliza las propiedades magnéticas del núcleo de hidrógeno excitado por la radiofrecuencia transmitida por un coil que rodea el cuerpo (véase Moore y Dalley [1999] para obtener más detalles). La RM es mejor que la TC para mostrar detalles de los tejidos blandos (p. ej., el corazón y los músculos

que rodean el tórax), pero brinda menos información sobre los huesos.



