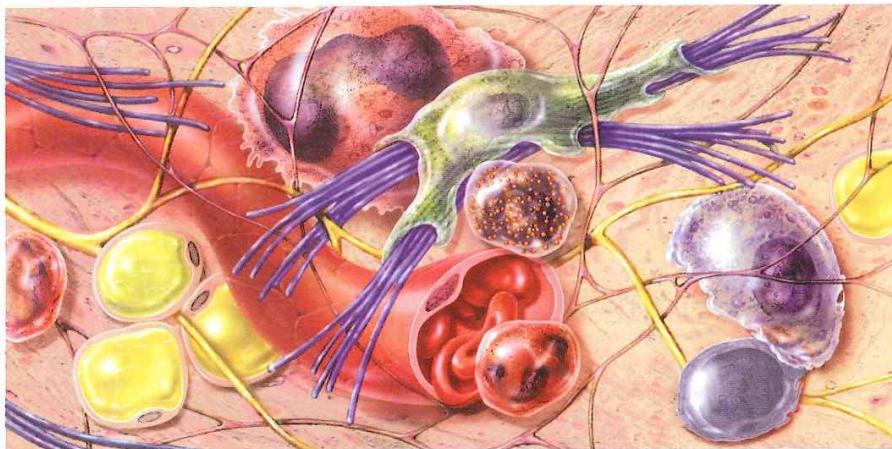


CAPÍTULO 4



Nivel tisular de organización

Tejidos y homeostasis

Los cuatro tipos básicos de tejidos del cuerpo humano contribuyen a la homeostasis a través de diversas funciones como protección, apoyo, comunicación entre células y resistencia a las enfermedades, entre otras.

Como vimos en el **Capítulo 3**, la célula es una colección compleja de compartimentos, cada uno de los cuales lleva a cabo una cantidad de reacciones bioquímicas que hacen posible la vida. Sin embargo, raras veces la célula funciona como una unidad aislada dentro del organismo. Las células se reúnen para formar tejidos. La estructura y las propiedades de un tejido específico dependen de factores como la naturaleza de la sustancia extracelular que rodea las células y las conexiones entre las células que componen el tejido. Los tejidos pueden tener consistencia dura, como el

tejido óseo, semisólida, como el tejido adiposo, o líquida, como la sangre. Además, existe gran diversidad en los tejidos respecto del tipo de células, su disposición, y el tipo de sustancia extracelular.

? ¿Se ha preguntado alguna vez si las complicaciones de la liposucción compensan sus beneficios?

4.1 Tipos de tejidos

OBJETIVO

- **Nombrar** los cuatro tipos básicos de tejidos que conforman el cuerpo humano, y **determinar** las características de cada uno.

Un **tejido** es un grupo de células que tienen un origen embrionario en común y funcionan juntas realizando actividades especializadas. La **histología** (*histo* = tejido; *-logia* = estudio) es la ciencia que estudia los tejidos. El **patólogo** (*pato* = enfermedad) es el médico que examina las células y los tejidos para ayudar a otros médicos a hacer un diagnóstico preciso. Una de las principales funciones del patólogo es examinar los tejidos en busca de cambios que puedan indicar enfermedad.

Los tejidos del cuerpo pueden clasificarse en cuatro tipos básicos según su estructura y función (Fig. 4.1):

- Tejido epitelial:** cubre las superficies del cuerpo y reviste los órganos huecos, las cavidades corporales y los conductos; también forma las glándulas. Este tejido permite al organismo interactuar con el medio interno y el externo.
- Tejido conectivo:** protege y sostiene el cuerpo y sus órganos. Diversos tipos de tejido conectivo mantienen los órganos unidos entre sí, almacenan reservas energéticas, como la grasa, y brindan inmunidad contra organismos causantes de enfermedades.
- Tejido muscular:** compuesto por células especializadas en la contracción y la generación de fuerza. En este proceso, el tejido muscular genera calor para el organismo.
- Tejido nervioso:** detecta cambios en una variedad de condiciones dentro y fuera del organismo, y responde generando señales eléctricas llamadas potenciales de acción (impulsos nerviosos) que activan las contracciones musculares y las secreciones glandulares.

El tejido epitelial y la mayoría de los tipos de tejido conectivo, a excepción del cartílago, el hueso y la sangre, son de naturaleza más general y

están ampliamente distribuidos en el organismo. Estos tejidos componen la mayoría de los órganos del cuerpo y tienen un amplio rango de estructuras y funciones. Este capítulo se referirá en detalle al tejido epitelial y al conectivo. Se presentarán las características generales del tejido óseo y de la sangre, a los que se hará referencia en detalle en los **Capítulos 6** y **19**, respectivamente. Asimismo, en este capítulo se presentarán la estructura y la función del tejido muscular y del tejido nervioso, que se describen en detalle en los **Capítulos 10** y **12**, respectivamente.

La mayoría de las células de un tejido se encuentran unidas a otras células o estructuras. Solo algunas células, como los fagocitos, se desplazan libremente en el organismo en busca de invasores que deben ser destruidos. Sin embargo, muchas células migran durante el proceso de crecimiento y desarrollo antes del nacimiento.

Correlación clínica

Biopsia

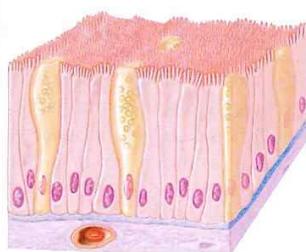
La **biopsia** (*bio* = vida; *-psia* = observación) es la extracción de una muestra de tejido vivo para su examen microscópico. Este procedimiento se utiliza para diagnosticar muchas enfermedades, en especial cáncer, y para descubrir la causa de infecciones e inflamaciones inexplicables. Se extraen tejidos normales y potencialmente enfermos para su comparación. Una vez obtenidas las muestras de tejido, sea en forma quirúrgica o a través de una aguja y una jeringa, estas pueden ser conservadas, teñidas para destacar propiedades especiales, o realizar cortes delgados para su observación microscópica. A veces se realiza una biopsia durante una cirugía con el paciente anestesiado para ayudar al médico a determinar el tratamiento más adecuado. Por ejemplo, si una biopsia de tejido tiroideo revela células malignas, el cirujano puede realizar en forma inmediata el procedimiento más adecuado.

Preguntas de revisión

1. Defina tejido.
2. ¿Cuáles son los cuatro tipos básicos de tejidos del ser humano?

FIGURA 4.1 Tipos de tejidos.

Cada uno de los cuatro tipos de tejidos tiene distintas células que varían en su forma, estructura, función y distribución.



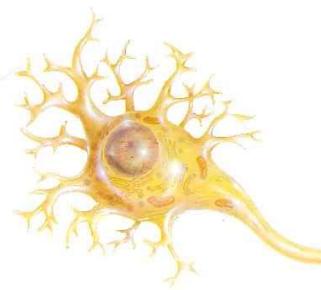
(a) Tejido epitelial



(b) Tejido conectivo



(c) Tejido muscular



(d) Tejido nervioso

? ¿Cuáles son las diferencias principales en la función entre los cuatro tipos de tejidos?

4.2 Uniones celulares

OBJETIVO

- **Describir** la estructura y las funciones de los cinco tipos principales de uniones celulares.

Antes de referirnos en forma más específica a los tipos de tejidos, examinaremos el modo en que se unen las células para formar los tejidos. La mayoría de las células epiteliales y algunas células musculares y nerviosas se adhieren en forma estrecha y forman unidades funcionales. Las **uniones celulares** son puntos de contacto entre las membranas plasmáticas de las células de un tejido. Consideraremos aquí los cinco tipos de uniones celulares más importantes: uniones estrechas, uniones adherentes, desmosomas, hemidesmosomas y uniones comunicantes (en hendidura o *gap junctions*) (Fig. 4.2).

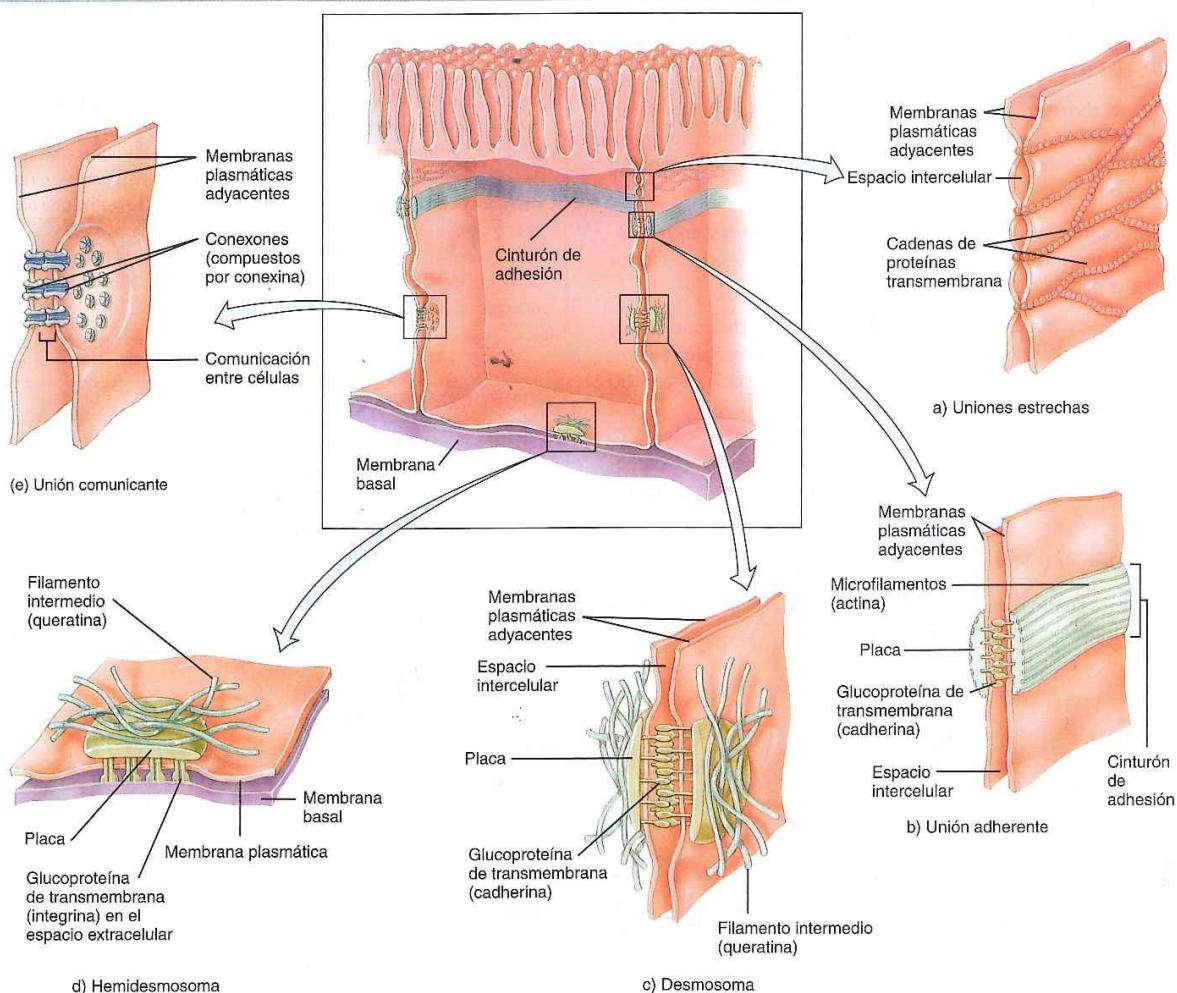
ticas de las células de un tejido. Consideraremos aquí los cinco tipos de uniones celulares más importantes: uniones estrechas, uniones adherentes, desmosomas, hemidesmosomas y uniones comunicantes (en hendidura o *gap junctions*) (Fig. 4.2).

Uniones estrechas

Las **uniones estrechas** están formadas por una red de cadenas de proteínas de transmembrana que fusionan las superficies externas de las membranas plasmáticas adyacentes y sellan las vías de paso entre estas células (Fig. 4.2a). Las células epiteliales que revisten el estómago, los intestinos y la vejiga tienen muchas uniones estrechas. Estas inhiben el pasaje de sustancias entre las células y evitan que el contenido de estos órganos se filtre hacia la sangre o los tejidos circundantes.

FIGURA 4.2 Uniones celulares.

La mayoría de las células epiteliales y algunas células musculares y nerviosas tienen uniones.



? ¿Qué tipo de unión celular funciona en la comunicación entre células adyacentes?

Uniones adherentes

Las **uniones adherentes** contienen una placa, que es una densa capa de proteínas en la parte interna de la membrana plasmática que se une a proteínas de membrana y a microfilamentos del citoesqueleto (Fig. 4.2b). Las células se unen mediante glucoproteínas de transmembrana llamadas **cadherinas**. Cada cadherina se inserta en la placa desde el lado opuesto de la membrana plasmática, atraviesa parcialmente el espacio intercelular (espacio entre las células) y se conecta a las cadherinas de una célula adyacente. En las células epiteliales, las uniones adherentes forman zonas extensas llamadas **cinturones de adhesión** pues rodean la célula como un cinturón. Las uniones adherentes ayudan a las superficies epiteliales a resistir la separación durante las actividades de contracción, como ocurre cuando el alimento se desplaza por los intestinos.

Desmosomas

Al igual que las uniones adherentes, los **desmosomas** contienen placa y glucoproteínas de transmembrana (cadherinas) que se extienden hacia el espacio intercelular entre membranas celulares adyacentes y unen las células entre sí (Fig. 4.2c). Sin embargo, a diferencia de las uniones adherentes, la placa de los desmosomas no se une a microfilamentos, sino a elementos del citoesqueleto conocidos como filamentos intermedios, formados por la proteína queratina. Los filamentos intermedios se extienden desde los desmosomas de un lado de la célula a través del citosol hasta los desmosomas del lado opuesto de la célula. Esta disposición estructural contribuye a la estabilidad de células y tejidos. Estas uniones como puntos de soldadura son frecuentes entre las células que forman la epidermis (la capa más externa de la piel) y entre las del músculo cardíaco. Los desmosomas evitan que las células epidérmicas se separen bajo tensión y que las del músculo cardíaco se desplacen durante la contracción.

Hemidesmosomas

Los **hemidesmosomas** (*hemi-* = mitad) son similares a los desmosomas pero no unen células adyacentes. El nombre se debe a que tienen el aspecto de la mitad de un desmosoma (Figura 4.2d). Las glucoproteínas de transmembrana de los hemidesmosomas son **integrinas** en lugar de cadherinas. En la parte interna de la membrana plasmática, las integrinas se unen a filamentos intermedios formados por la proteína queratina. En la parte externa de la membrana plasmática, las integrinas se conectan a la proteína *laminina*, que se encuentra en la membrana basal (se explicará en breve). Así, los hemidesmosomas no unen las células entre sí, sino a la membrana basal.

Uniones comunicantes (uniones en hendidura o gap junctions)

En las **uniones comunicantes**, las proteínas de membrana llamadas **connexinas** forman túneles diminutos llenos de líquido llamados **conexones** que conectan células vecinas (Fig. 4.2e). Las membranas plasmáticas de las uniones comunicantes no se encuentran fusionadas como en las uniones estrechas, sino que están separadas por un espacio intercelular muy angosto. A través de los conexones difunden moléculas pequeñas y iones desde el citosol de una célula a otra, pero no atraviesan moléculas más grandes como las proteínas intracelulares vitales. La transferencia de nutrientes, y tal vez de desechos, ocurre a través de las uniones comunicantes en tejidos avasculares como los cristalinos (lentes) y las córneas de los ojos.

Las uniones comunicantes permiten la comunicación entre las células de un tejido. En el embrión en desarrollo, algunas de las señales químicas y eléctricas que regulan el crecimiento y la diferenciación celular se desplazan a través de uniones comunicantes. Las uniones comunicantes permiten también la diseminación rápida de los impulsos nerviosos o musculares entre las células, un proceso crucial para el funcionamiento normal de algunas partes del sistema nervioso y para la contracción del músculo cardíaco, el tubo digestivo y el útero.

Preguntas de revisión

3. ¿Qué tipo de unión celular impide la filtración del contenido de los órganos hacia tejidos circundantes?
4. ¿Qué tipos de uniones celulares se encuentran en el tejido epitelial?

4.3 Comparación entre los tejidos epitelial y conectivo

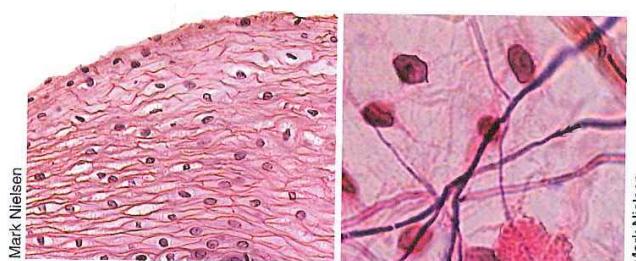
OBJETIVO

- **Establecer** las principales diferencias entre el tejido epitelial y el tejido conectivo.

Antes de examinar en detalle los tejidos epitelial y conectivo, se compararán estas dos estructuras, ampliamente distribuidas en el organismo (Fig. 4.3). Las principales diferencias estructurales entre el tejido epitelial y el conectivo son evidentes bajo el microscopio óptico. La primera diferencia obvia es el número de células en relación con la matriz extracelular (sustancia intercelular). En el tejido epitelial se encuentran muchas células

FIGURA 4.3 Comparación entre el tejido epitelial y el tejido conectivo.

Una diferencia principal entre el tejido epitelial y el conectivo es la relación entre el número de células y la matriz extracelular.



(a) Tejido epitelial con gran número de células con uniones estrechas y poca o ninguna matriz extracelular

(b) Tejido conectivo con pocas células dispersas rodeadas por gran cantidad de matriz extracelular

? **¿Qué relación entre el tejido epitelial y el conectivo es importante para la supervivencia y la función de los tejidos epiteliales?**

estrechamente unidas con poca o ninguna matriz extracelular, mientras que en el tejido conectivo las células están dispersas y separadas por una gran cantidad de material extracelular. La segunda diferencia evidente es que el tejido epitelial no posee vasos sanguíneos, mientras que la mayoría de los tejidos conectivos tienen importantes redes de vasos sanguíneos. Otra diferencia clave es que el tejido epitelial casi siempre forma capas superficiales y no está cubierto por otro tejido. Una excepción es el endotelio que reviste los vasos sanguíneos, en contacto constante con la sangre. Estas diferencias estructurales clave explican algunas de las principales diferencias funcionales entre estos dos tipos de tejidos, pero también implican la necesidad de enlace entre ambos tejidos. El tejido epitelial, que carece de vasos sanguíneos y forma las superficies, siempre se encuentra inmediatamente adyacente a un tejido conectivo rico en vasos sanguíneos que le permite el intercambio con la sangre, necesario para el transporte de oxígeno y nutrientes y la eliminación de desechos, procesos críticos para la supervivencia y el funcionamiento del tejido.

Preguntas de revisión

5. ¿Por qué los tejidos epitelial y conectivo siempre se encuentran adyacentes entre sí?

4.4 Tejido epitelial

OBJETIVOS

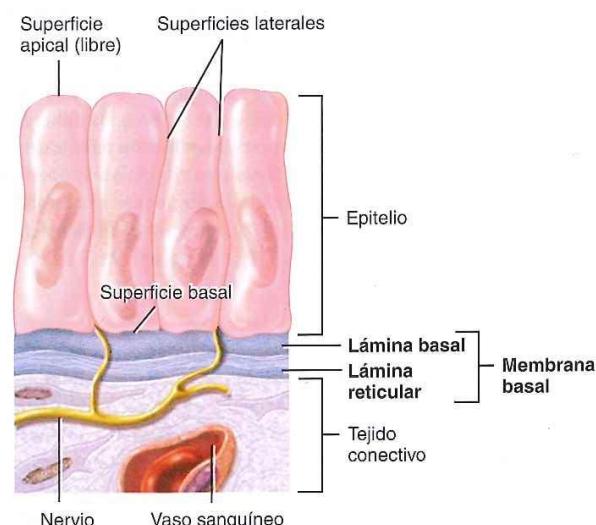
- **Describir** las características generales del tejido epitelial.
- **Enumerar** la ubicación, la estructura y la función de cada tipo de tejido epitelial.

El **tejido epitelial** o **epitelio** está formado por células dispuestas en una lámina continua, que pueden formar una capa única o múltiples capas. Dado que las células están íntimamente unidas mediante uniones estrechas, el espacio intercelular entre membranas plasmáticas adyacentes es pequeño. El tejido epitelial se dispone en el organismo en dos patrones generales: (1) cubre y reviste diversas superficies y (2) forma la porción secretora de las glándulas. La función del tejido epitelial es proteger, secretar (moco, hormonas y enzimas), absorber (nutrientes en el tubo digestivo) y excretar (diversas sustancias en las vías urinarias).

Las superficies de las células del revestimiento epitelial presentan diversas estructuras y funciones especializadas. La **superficie apical (libre)** de una célula epitelial tapiza la superficie corporal, una cavidad corporal, la luz (espacio interior) de un órgano interno, o un conducto tubular que recibe secreciones celulares (Fig. 4.4). Las superficies apicales pueden contener cilios o microvellosidades. Las **superficies laterales** de una célula epitelial, que contactan con las células adyacentes a cada lado, pueden tener uniones estrechas, uniones adherentes, desmosomas o uniones comunicantes. La **superficie basal** de la célula epitelial es opuesta a la apical. Las superficies basales de la capa profunda de células epiteliales se adhieren a sustancias extracelulares, como la membrana basal. Los hemidesmosomas de la superficie basal de la capa profunda de células epiteliales se anclan al epitelio de la membrana basal (que se describirá a continuación). En los epitelios multilaminares, el término **capa apical** se

FIGURA 4.4 Superficies de las células epiteliales y estructura y ubicación de la membrana basal.

La membrana basal se encuentra entre el tejido epitelial y el conectivo.



Correlación clínica

Membrana basal y enfermedad

En ciertas condiciones, la membrana basal se engrosa debido a una producción aumentada de colágeno y laminina. En casos de diabetes mellitus no tratada, la membrana basal de los vasos sanguíneos pequeños (capilares) se engrosa, en especial en los ojos y en los riñones. Esto impide el buen funcionamiento de los vasos sanguíneos, lo que puede provocar ceguera e insuficiencia renal.

? ¿Cuáles son las funciones de la membrana basal?

refiere al plano de células más superficial, y la *capa basal* es el plano más profundo de células.

La **membrana basal** es una capa extracelular delgada formada por lo general por dos estratos: basal y reticular. La *lámina basal* (*lámina* = capa delgada) es cercana a las células epiteliales y secretada por estas. Contiene proteínas, como laminina y colágeno (que se describirán en breve), y glucoproteínas y proteoglucanos (también comentados en la próxima sección). Como ya se ha visto, las moléculas de laminina de la lámina basal se adhieren a las integrinas en los hemidesmosomas y así unen las células epiteliales a la membrana basal (véase Fig. 4.2d). La *lámina reticular* es la capa cercana al tejido conectivo subyacente y contiene proteínas como el colágeno, producido por células del tejido conectivo llamadas *fibroblastos* (véase Fig. 4.8). Además de unir y anclar el epitelio al tejido conectivo subyacente, la membrana basal tiene otras funciones. Forma una superficie por la que migran las células epiteliales durante el crecimiento y la curación de heridas, restringe el pasaje de moléculas grandes entre el epitelio y el tejido conectivo, y participa en la filtración de la sangre en los riñones.

El tejido epitelial tiene su propia inervación pero, como ya se ha mencionado, es **avascular** (no posee vasos sanguíneos) y depende de los vasos sanguíneos del tejido conectivo adyacente para recibir nutrientes y eliminar desechos. El intercambio de sustancias entre el tejido epitelial y el conectivo ocurre por difusión.

Dado que el tejido epitelial forma los límites entre los órganos del cuerpo, o entre el organismo y el medio externo, está sujeto en forma repetida a presión física y lesiones. Una alta tasa de división celular permite una renovación constante y la autorreparación del tejido epitelial mediante la descamación de las células muertas o dañadas, que son reemplazadas por células nuevas. El tejido epitelial cumple diversas funciones en el organismo; las más importantes son protección, filtración, secreción, absorción y excreción. Además, se combina con el tejido nervioso y forma órganos especiales para el olfato, la audición, la visión y el tacto.

El tejido epitelial puede dividirse en dos tipos: 1) **epitelio de cubierta y revestimiento**, llamado también **epitelio de superficie**, que forma la cubierta exterior de la piel y de algunos órganos internos, así como el revestimiento interno de los vasos sanguíneos, los conductos, las cavidades corporales, y el interior de los sistemas respiratorio, digestivo, urinario y reproductor, y 2) **epitelio glandular**, que forma la porción secretora de glándulas como la tiroides, la glándula suprarrenal, las glándulas sudoríparas y las digestivas.

Clasificación del tejido epitelial

Los tipos de tejido epitelial de cubierta o revestimiento se clasifican sobre la base de dos características: la disposición de las células en capas y la forma de las células (Fig. 4.5).

1. Disposición de las células en capas (Fig. 4.5).

Las células están dispuestas en una o más capas según su función:

- Epitelio simple** es una capa única de células cuya función es difusión, ósmosis, filtración, secreción o absorción. La **secreción** es la producción y liberación de sustancias como moco, sudor o enzimas. La **absorción** es el ingreso de líquidos u otras sustancias como alimento digerido del tubo digestivo.
- Epitelio seudoestratificado** (*seudo* = falso): parece contener múltiples capas de células pues los núcleos celulares se ubican a diferentes niveles y no todas las células llegan a la superficie apical; en realidad, es un epitelio simple porque todas sus células se apoyan sobre la membrana basal. Las células que se extienden hasta la superficie apical pueden contener cilios; otras (células caliciformes) secretan moco.
- Epitelio estratificado** (*estrato* = capa): formado por dos o más capas de células que protegen tejidos subyacentes en lugares donde existe gran desgaste y rozamiento.

2. Forma de las células (Fig. 4.5).

Las células epiteliales varían de forma según su función:

- Células pavimentosas** (planas) son delgadas y permiten el pasaje rápido de sustancias.
- Células cúbicas** tienen una altura y un ancho similares y tienen forma de cubo o hexágono. Pueden tener microvellosidades en su superficie apical y cumplen funciones de secreción o absorción.
- Células cilíndricas** son mucho más altas que anchas, con forma de columnas, y protegen tejidos subyacentes. Las superficies apicales pueden tener cilios o microvellosidades, y a menudo se especializan en secreción o absorción.

- Células transicionales** varían de forma, de planas a cilíndricas, y a la inversa, como en el caso de la vejiga, que se distiende a un mayor tamaño y luego colapsa a un tamaño menor.

Si se combinan ambas características (disposición en capas y forma de las células), se obtienen los siguientes tipos de tejido epitelial:

I. Epitelio simple

A. Epitelio pavimentoso simple

- Endotelio** (reviste el corazón, y los vasos sanguíneos y linfáticos)
 - Mesotelio** (forma la capa epitelial de las membranas serosas)
- #### B. Epitelio cúbico simple
- #### C. Epitelio cilíndrico simple
- No ciliado** (carece de cilios)
 - Ciliado** (contiene cilios)
- #### D. Epitelio cilíndrico seudoestratificado
- No ciliado** (carece de cilios)
 - Ciliado** (contiene cilios)

II. Epitelio estratificado

A. Epitelio pavimentoso estratificado*

- No queratinizado** (carece de queratina)
- Queratinizado** (contiene queratina)

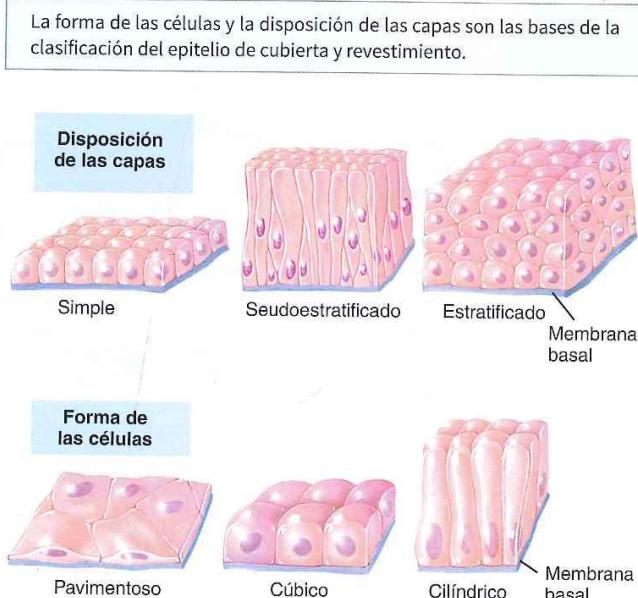
B. Epitelio cúbico estratificado*

C. Epitelio cilíndrico estratificado*

D. Epitelio transicional o urotelio (reviste casi todas las vías urinarias)

*Esta clasificación se basa en la forma de las células de la superficie apical.

FIGURA 4.5 Forma de las células y disposición de las capas en el epitelio de cubierta y revestimiento.



¿Qué forma celular se adapta mejor al movimiento rápido de sustancias entre las células?

Epitelio de cubierta y revestimiento

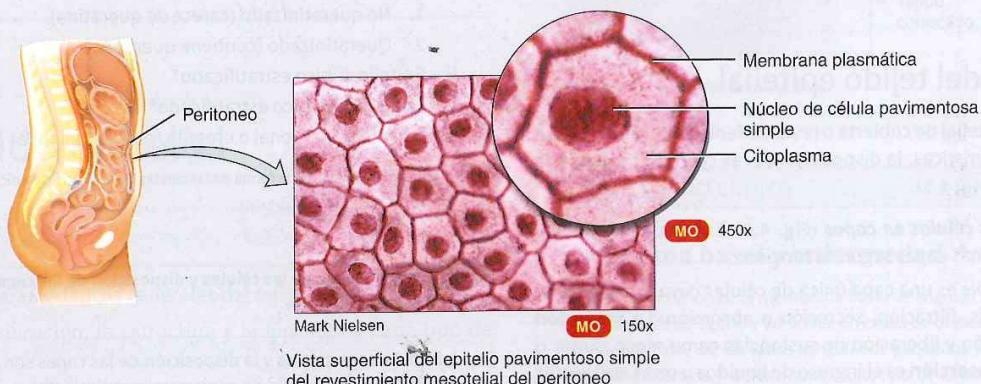
Como ya se señaló, el epitelio de cubierta y revestimiento forma la envoltura externa de la piel y de algunos órganos internos. Forma también el revestimiento interno de los vasos sanguíneos, los conductos y las

cavidades corporales, y el interior de los aparatos respiratorio, digestivo, urinario y reproductor. En el Cuadro 4.1 se describe el epitelio de cubierta y revestimiento con mayor detalle. En cada tipo se incluye una microfotografía, un diagrama correspondiente y un recuadro que identifica una ubicación principal del tejido en el organismo. Cada ilustración se acompaña de la descripción, la ubicación y las funciones del tejido.

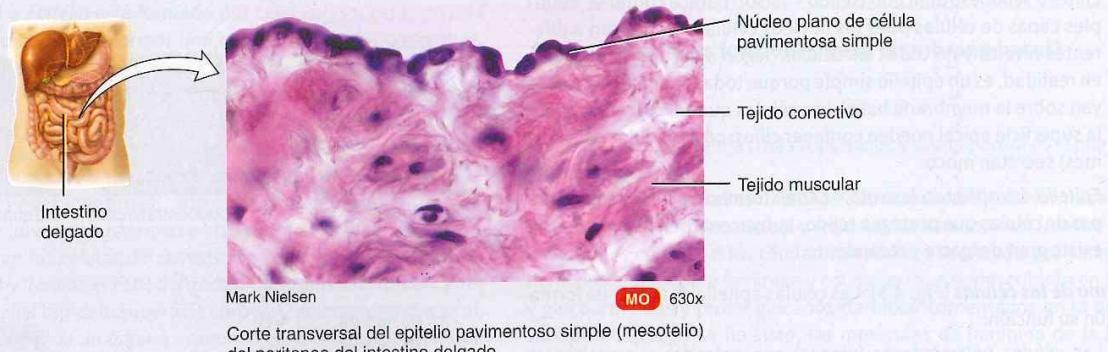
CUADRO 4.1 Tejido epitelial: epitelio de cubierta y revestimiento

A. EPITELIO PAVIMENTOSO SIMPLE

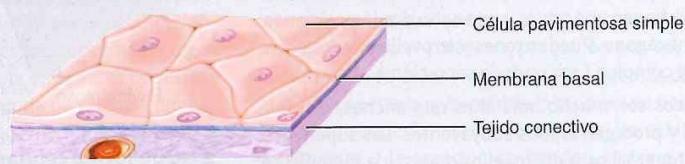
Descripción	El epitelio pavimentoso simple es una capa única de células planas similares a un suelo de baldosas si se observa desde su superficie apical; posee un núcleo central aplano de forma oval o esférica
Ubicación	Se encuentra principalmente en (1) revestimiento del sistema cardiovascular y linfático (corazón, vasos sanguíneos, vasos linfáticos), donde se conoce como endotelio (<i>endo-</i> = interno; <i>-telio</i> = cubierta), y (2) forma la capa epitelial de las membranas serosas (peritoneo, pleura, pericardio), en donde se denomina mesotelio (<i>meso</i> = medio). Se encuentra también en los alvéolos pulmonares, la cápsula glomerular (de Bowman) en el riñón, la superficie interna de la membrana timpánica
Función	Presente en sitios de filtración (como la filtración de la sangre en el riñón) o de difusión (como la difusión de oxígeno hacia los vasos sanguíneos de los pulmones) y en sitios de secreción en las membranas serosas. No se encuentra en zonas del cuerpo sujetas a tensión mecánica



Vista superficial del epitelio pavimentoso simple del revestimiento mesotelial del peritoneo



Corte transversal del epitelio pavimentoso simple (mesotelio) del peritoneo del intestino delgado



Epitelio pavimentoso simple

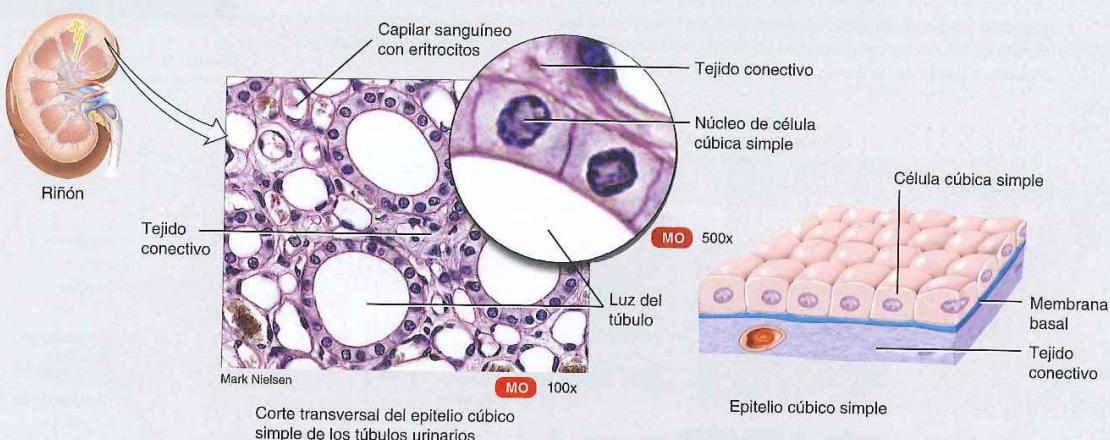
Continúa

CUADRO 4.1 Tejido epitelial: epitelio de cubierta y revestimiento (Continuación)**B. EPITELIO CÚBICO SIMPLE**

Descripción El **epitelio cúbico simple** es una capa única de células cúbicas; su núcleo es redondo y de ubicación central. La forma cúbica de las células se evidencia cuando se secciona el tejido y se observa desde un costado. (Nota: las células cúbicas estrictas no pueden formar tubos; estas células cúbicas tienen una altura similar a su ancho de base)

Ubicación Cubren la superficie del ovario; revisten la superficie anterior de la cápsula de los lentes oculares; forman el epitelio pigmentado en la superficie posterior de la retina; revisten los túbulos renales y los conductos glandulares; forman la porción secretora de algunas glándulas como el páncreas y los conductos de algunas glándulas como el páncreas

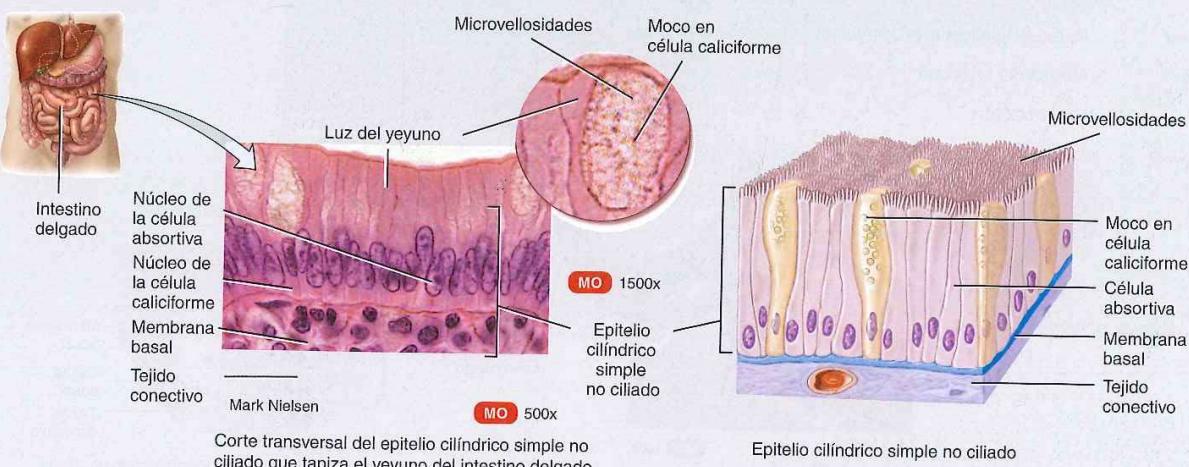
Función Secreción y absorción

**C. EPITELIO CILÍNDRICO SIMPLE NO CILIADO**

Descripción El **epitelio cilíndrico simple no ciliado** es una capa única de células cilíndricas no ciliadas con un núcleo oval cerca de su base; contiene (1) células epiteliales cilíndricas con microvellosidades en su superficie apical y (2) células caliciformes. **Microvellosidades**, proyecciones citoplasmáticas digitiformes, que aumentan la superficie de absorción de la membrana plasmática (véase Fig. 3.1). Las **caliciformes** son células epiteliales cilíndricas modificadas que secretan un líquido pegajoso, llamado moco, en su superficie apical. Antes de ser liberado, el mucus se acumula en la porción superior de la célula, que se infla y toma la forma de una copa de vino

Ubicación Reviste el tubo digestivo (desde el estómago hasta el ano), los conductos de muchas glándulas y la vesícula biliar

Función Secrección y absorción; las células cilíndricas grandes contienen más orgánulos y esto les permite un mayor nivel de secreción y absorción que las células cúbicas. El moco secretado lubrica las paredes del tracto digestivo, respiratorio y reproductor, y gran parte del aparato urinario; evita que la acidez de los jugos gástricos destruya la capa protectora del estómago



Continúa

CUADRO 4.1 Tejido epitelial: epitelio de cubierta y revestimiento (continuación)**D. EPITELIO CILÍNDRICO SIMPLE CILIADO**

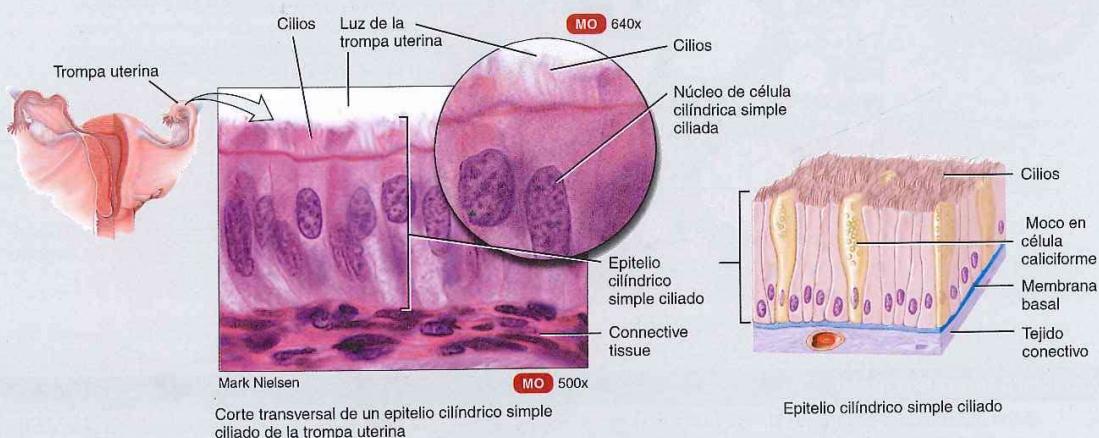
Descripción El **epitelio cilíndrico simple ciliado** está formado por una capa única de células cilíndricas con un n úcleo oval cercano a su base. Suelen tener células caliciformes intercaladas

Ubicación Reviste algunos bronquiolos (tubos pequeños) del aparato respiratorio, las trompas uterinas o de Falopio, el útero, algunos senos paranasales, el canal central de la médula espinal y los ventrículos cerebrales

Función Los cilios se mueven en forma coordinada, y desplazan el moco y partículas extrañas hacia la garganta, en donde pueden ser expectoradas o tragadas. La tos y el estornudo aumentan el movimiento de los cilios y del moco. Los cilios ayudan también al movimiento del ovocito liberado por el ovario a través de las trompas uterinas hacia el útero



Epitelio cilíndrico simple ciliado de la trompa uterina



Corte transversal de un epitelio cilíndrico simple ciliado de la trompa uterina

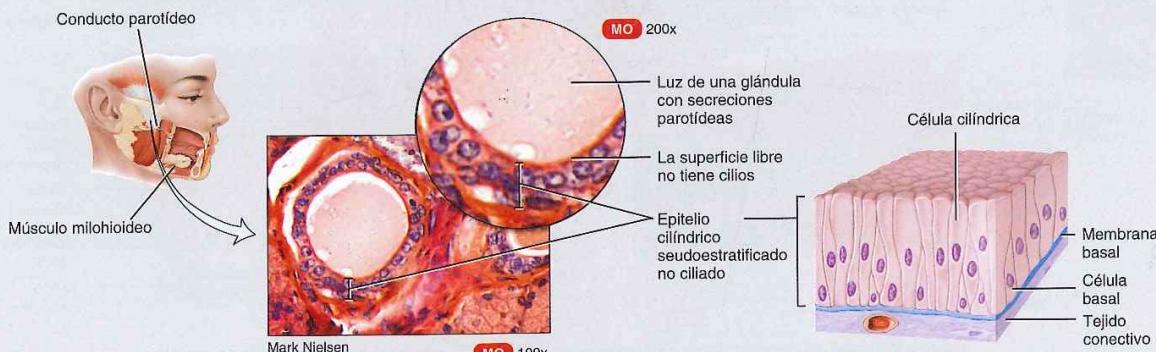
Epitelio cilíndrico simple ciliado

E. EPITELIO CILÍNDRICO SEUDOESTRATIFICADO NO CILIADO

Descripción El **epitelio cilíndrico seudoestratificado no ciliado** parece tener varias capas, pues los n úcleos de sus células se encuentran en distintos niveles. Si bien todas las células se encuentran adheridas a la membrana basal en una capa única, algunas no llegan hasta la superficie apical. Si se observa desde un costado, estas características dan la falsa impresión de un tejido con varias capas –de ahí su nombre de epitelio seudoestratificado (seudo= falso). Contiene células sin cilios y carece de células caliciformes

Ubicación Reviste el epidídimo, los conductos mayores de muchas gl ándulas y parte de la uretra masculina

Función Absorción y secreción



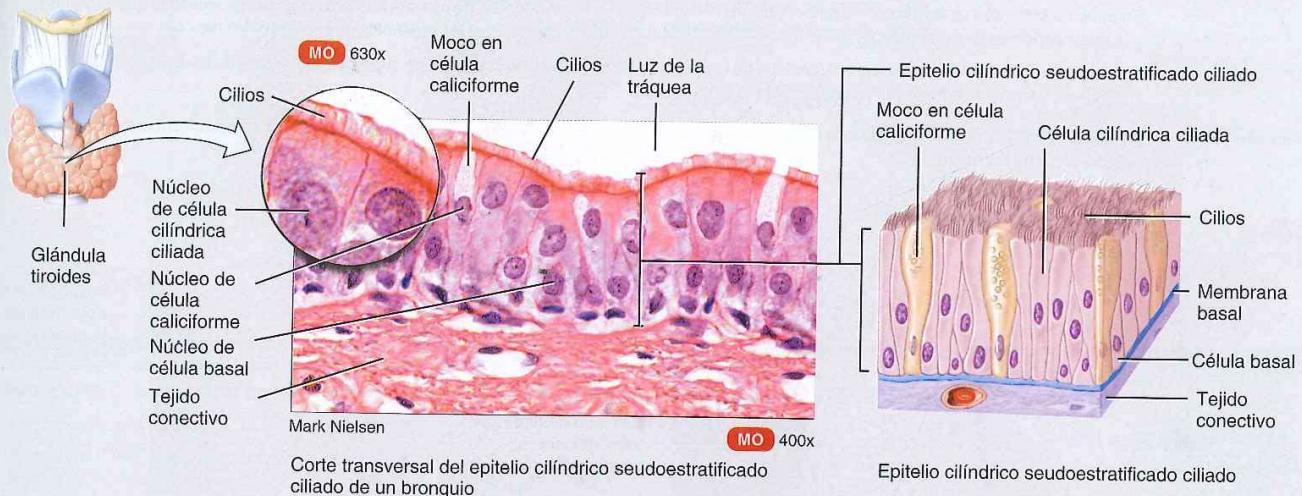
Corte transversal del epitelio cilíndrico seudoestratificado no ciliado de la cubierta de los conductos de la gl ándula parótida

Epitelio cilíndrico seudoestratificado no ciliado

Continúa

CUADRO 4.1 Tejido epitelial: epitelio de cubierta y revestimiento (continuación)**F. EPITELIO CILÍNDRICO SEUDOESTRATIFICADO CILIADO**

Descripción	El epitelio cilíndrico seudoestratificado ciliado parece tener varias capas pues los núcleos celulares se encuentran en distintos niveles. Todas las células se adhieren a la membrana basal en una única capa, pero algunas células no se extienden hasta la superficie apical. Si se observa desde un costado, estas características dan la falsa impresión de un tejido con varias capas (de ahí su nombre de seudoestratificado; <i>seudo-</i> = falso). Contiene células que se extienden hasta la superficie y secretan moco (células caliciformes) o con cilios
Ubicación	Reviste las vías aéreas de la mayor parte del tracto respiratorio
Función	Secreta mucus que atrapa las partículas extrañas, y los cilios desplazan el mucus para ser eliminado del cuerpo



Corte transversal del epitelio cilíndrico seudoestratificado ciliado de un bronquio

Epitelio cilíndrico seudoestratificado ciliado



Epitelio cilíndrico seudoestratificado ciliado de un bronquio

Continúa

CUADRO 4.1 Tejido epitelial: epitelio de cubierta y revestimiento (Continuación)**G. EPITELIO PAVIMENTOSO ESTRATIFICADO**

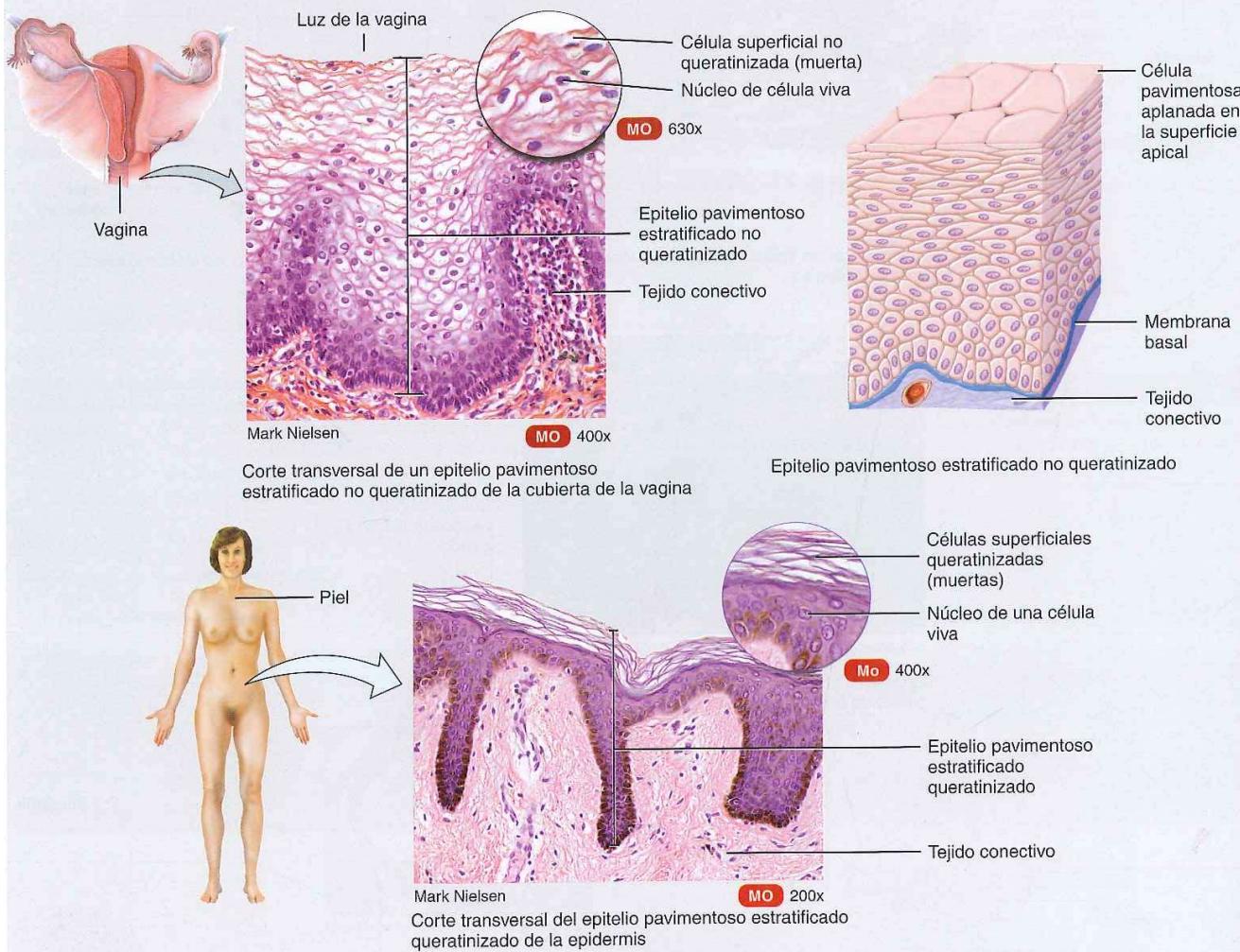
Descripción El **epitelio pavimentoso estratificado** tiene dos o más capas de células; las células de la capa apical y varias capas por debajo de esta son pavimentosas; las células de las capas más profundas varían desde cúbicas a cilíndricas. Al dividirse las células basales, las células hijas resultantes de la división celular empujan hacia la capa apical. A medida que se desplazan hacia la superficie, alejándose de los vasos sanguíneos del tejido conectivo subyacente, se van deshidratando y pierden actividad metabólica. Al reducirse el citoplasma, predominan proteínas más sólidas y la célula se vuelve más dura, rígida y finalmente muere. En la capa apical, al perder las células muertas sus uniones celulares, estas se descaman y son reemplazadas continuamente por nuevas células provenientes de las células basales.

El **epitelio pavimentoso estratificado queratinizado** desarrolla una capa dura de queratina en las células apicales y en varias capas de células más profundas (véase Fig. 5.3). (La **queratina** es una proteína intracelular fibrosa y dura, que ayuda a proteger la piel y tejidos subyacentes del calor, de los microbios, y de sustancias químicas). La cantidad de queratina aumenta en la célula a medida que se aleja de la capa basal y pierde la nutrición sanguínea, y mueren sus orgánulos.

El **epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado** no contiene grandes cantidades de queratina en la capa apical y las capas más profundas, y es humedecido en forma constante por el moco de las glándulas salivales y mucosas; los orgánulos no son reemplazados.

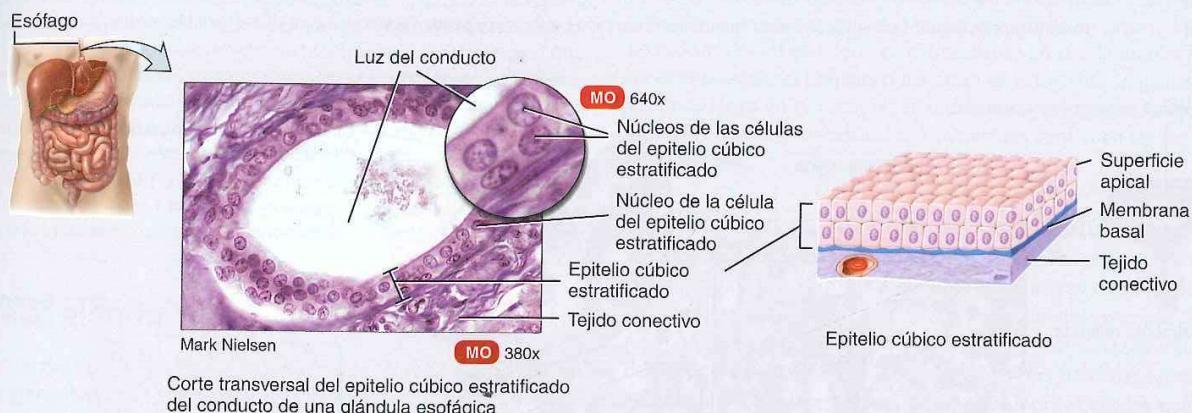
Ubicación El epitelio queratinizado forma la capa superficial de la piel; el epitelio no queratinizado reviste superficies húmedas (la boca, el esófago, parte de la epiglótis, parte de la faringe y la vagina) y cubre la lengua.

Función Protección contra la abrasión, la pérdida de agua, la radiación ultravioleta y la invasión de cuerpos extraños. Ambos tipos forman la primera línea defensiva contra los microbios.



CUADRO 4.1 Tejido epitelial: epitelio de cubierta y revestimiento (Continuación)**H. EPITELIO CÚBICO ESTRATIFICADO**

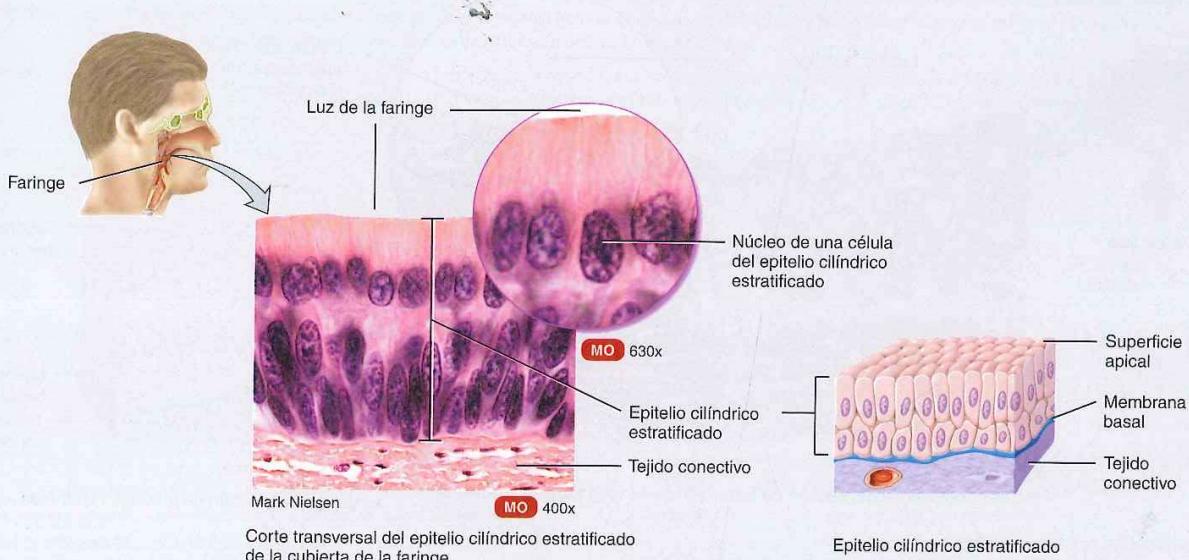
- Descripción** El **epitelio cúbico estratificado** tiene dos o más capas de células; las células de la capa apical son cúbicas; es bastante raro
- Ubicación** En el adulto, los conductos de las glándulas sudoríparas y las glándulas esofágicas, y parte de la uretra masculina
- Función** Protección; limitada secreción y absorción



Corte transversal del epitelio cúbico estratificado del conducto de una glándula esofágica

I. EPITELIO CILÍNDRICO ESTRATIFICADO

- Descripción** Las **capas basales del epitelio cilíndrico estratificado** están formadas por células cortas de forma irregular; solo la capa apical tiene células cilíndricas; es raro
- Ubicación** Reviste parte de la uretra; los grandes conductos excretores de algunas glándulas, como las glándulas esofágicas; pequeñas áreas de la membrana de la mucosa anal; parte de la conjuntiva ocular
- Función** Protección y secreción



Corte transversal del epitelio cilíndrico estratificado de la cubierta de la faringe

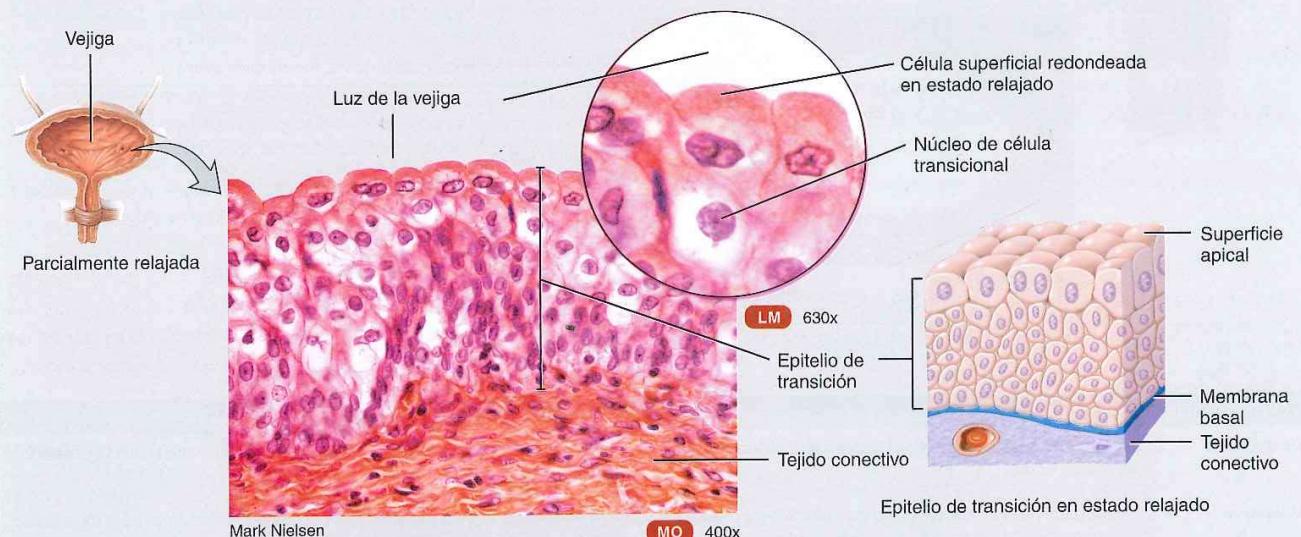
Continúa

CUADRO 4.1 Tejido epitelial: epitelio de cubierta y revestimiento (Continuación)**J. EPITELIO DE TRANSICIÓN (UROTELIO)**

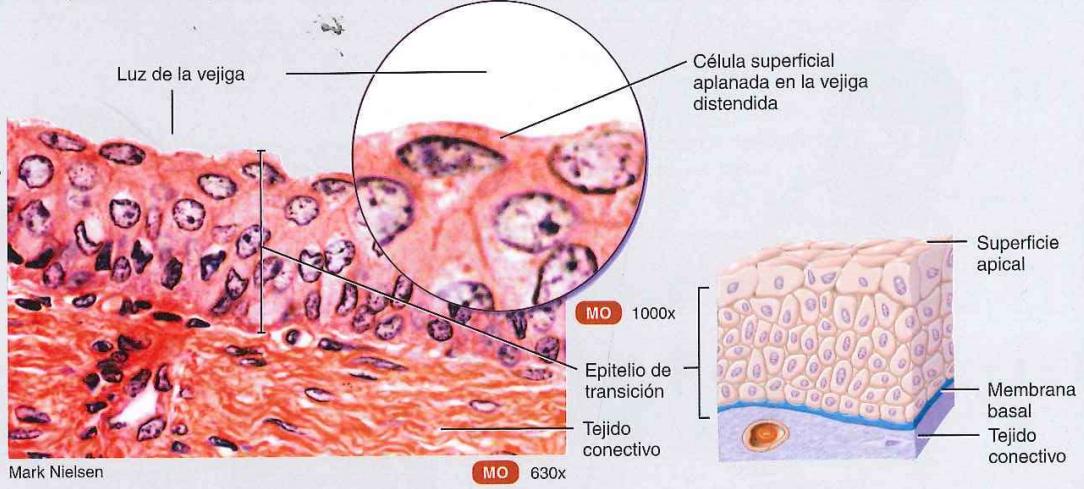
Descripción El **epitelio de transición (urotelio)** tiene apariencia variable (transicional). En el estado relajado, se asemeja al epitelio cúbico estratificado, a excepción de la capa de células apicales que tienden a ser más grandes y redondas. Cuando está estirado, las células se aplatan, dándole el aspecto de un epitelio pavimentoso estratificado. La presencia de múltiples capas y su elasticidad hacen de este el epitelio ideal para el revestimiento de estructuras huecas (vejiga) sujetas a expansión interna

Ubicación Reviste la vejiga y partes de los uréteres y uretra

Función Permite que los órganos urinarios se estiren manteniendo su capa protectora y puedan almacenar cantidades variables de líquido sin romperse



Corte transversal del epitelio de transición de la vejiga en estado parcialmente relajado



Corte transversal del epitelio de transición de la vejiga distendida

Correlación clínica

Estudio de Papanicolaú

El **estudio de Papanicolaú**, llamado también *Pap test* o *Pap smear*, consiste en la recolección y el examen microscópico de células epiteliales tomadas mediante el raspado de la capa apical de un tejido. Un tipo muy común de Pap es el examen de células del epitelio pavimentoso estratificado no queratinizado de la vagina y el cuello uterino (porción inferior) del útero. Este tipo de estudio Pap se realiza sobre todo para detectar cambios tempranos en las células del aparato reproductor femenino que podrían indicar una afección precancerosa o cáncer. Para realizarlo, se raspan las células del tejido y se hace un frotis sobre un portaobjetos. Luego se envía al laboratorio para su análisis. Se recomienda realizar un Pap cada tres años a partir de los 21 años. En mujeres de entre 30 y 65 años, se debe hacer un estudio de Pap y de HPV (virus papiloma humano) cada cinco años o estudio de Pap solo cada tres años. Las mujeres con factores de riesgo pueden requerir estudios más frecuentes o continuar con estos después de los 65 años.

Epitelio glandular

La función del epitelio glandular es la secreción, llevada a cabo por las células glandulares que suelen ubicarse en grupos en la parte profunda del epitelio de cubierta y revestimiento. Una **glándula** es un epitelio que secreta sustancias hacia un conducto, una superficie, o hacia la sangre en ausencia de conductos. Todas las glándulas del cuerpo se clasifican como endocrinas o exocrinas.

Las secreciones de las **glándulas endocrinas** (*endo-* = interno; *-crina* = secreción; **Cuadro 4.2**), llamadas hormonas, ingresan en el líquido intersticial y luego difunden hacia el torrente sanguíneo sin pasar por conductos. Las glándulas endocrinas se describirán en detalle en el **Capítulo 18**. Las secreciones endocrinas tienen efectos en órganos alejados, pues se distribuyen por todo el cuerpo a través de la sangre.

Las **glándulas exocrinas** (*exo-* = externo; **Cuadro 4.2**) secretan sus productos en conductos que desembocan en la superficie de un epitelio de cubierta o revestimiento, como la piel o la luz de un órgano hueco. Las secreciones de las glándulas exocrinas tienen efectos limitados y algunas de ellas pueden ser dañinas si penetran en el torrente sanguíneo. Como veremos luego en el texto, algunas glándulas del cuerpo, como el páncreas, los ovarios y los testículos, son mixtas y contienen tejidos endocrinos y exocrinos.

Clasificación estructural de las glándulas exocrinas

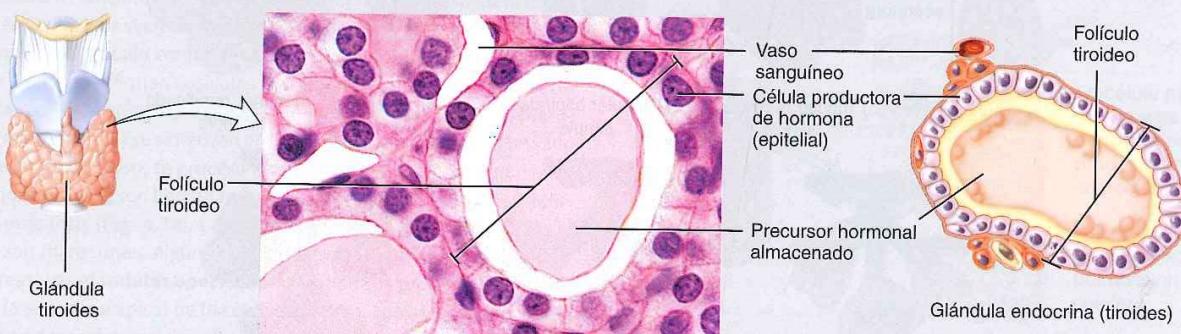
Las glándulas exocrinas se clasifican como unicelulares o pluricelulares. Como indica su nombre, las **glándulas unicelulares** están formadas por una sola célula. Las células caliciformes son glándulas exocrinas unicelulares importantes que secretan moco directamente sobre la superficie apical de un epitelio de revestimiento. La mayoría de las glándulas exocrinas son **glándulas multicelulares**, compuestas por muchas células que forman una estructura microscópica distinguible o un órgano macroscópico. Algunos ejemplos son las glándulas sudoríparas, las sebáceas y las salivales.

Las glándulas pluricelulares se clasifican de acuerdo con dos criterios: 1) conductos ramificados o no ramificados y 2) forma de las porciones

CUADRO 4.2 Tejido epitelial: epitelio glandular

A. GLÁNDULAS ENDOCRINAS

Descripción	La secreción de las glándulas endocrinas (<i>Hormonas</i>) ingresa en el líquido intersticial y luego difunde hacia el torrente sanguíneo sin pasar por un conducto. Las glándulas endocrinas se describen en detalle en el Capítulo 18 .
Ubicación	Algunos ejemplos incluyen la glándula hipofísis en la base del encéfalo, la glándula pineal en el encéfalo, las glándulas tiroides y paratiroides cerca de la laringe (cuerdas vocales), las glándulas suprarrenales sobre los riñones, el páncreas cerca del estómago, los ovarios en la cavidad pélvica, los testículos en el escroto, el timo en la cavidad torácica
Función	Las hormonas regulan muchas actividades metabólicas y fisiológicas para mantener la homeostasis



Mark Nielsen

MO 630x

Corte transversal de una glándula endocrina (tiroides)

Continúa

CUADRO 4.2 Tejido epitelial: epitelio glandular (Continuación)**B. GLÁNDULAS EXOCRINAS**

Descripción	Los productos de secreción de las glándulas exocrinas se vuelcan en conductos que desembocan en la superficie de un epitelio de cubierta y revestimiento, como la piel o la luz de órganos huecos
Ubicación	Las glándulas sudoríparas y sebáceas de la piel, y las productoras de cera en las orejas; glándulas digestivas como las glándulas salivales (secretan hacia la cavidad bucal) y el páncreas (secreta hacia el intestino delgado)
Función	Producen sustancias como el sudor que ayuda a disminuir la temperatura corporal, sebo, cerumen, saliva o enzimas digestivas

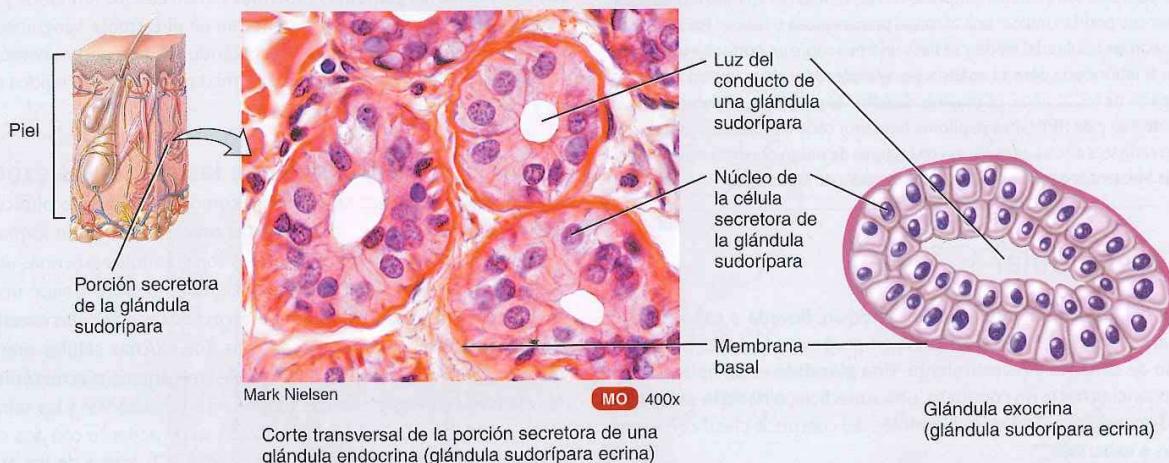
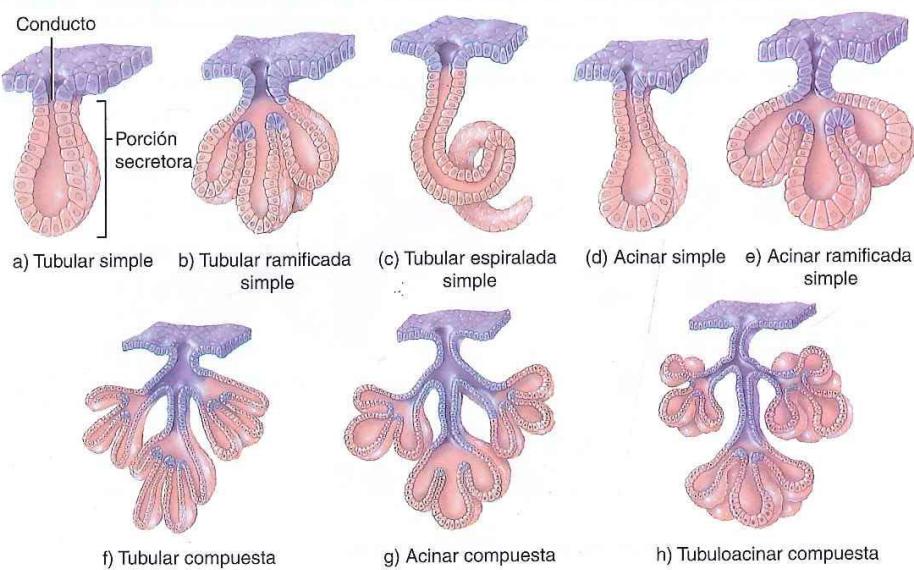


FIGURA 4.6 Glándulas exocrinas pluricelulares. La porción secretora se representa en color rosa; el conducto se representa en color lavanda.

La clasificación estructural de las glándulas exocrinas pluricelulares se basa en el patrón de ramificación del conducto y en la forma de la porción secretora.



? ¿En qué se diferencian las glándulas exocrinas pluricelulares simples de las compuestas?

secretoras de la glándula (Fig. 4.6). Si el conducto de la glándula no se ramifica, se trata de una **glándula simple** (Fig. 4.6a-e). Si el conducto se ramifica, se trata de una **glándula compuesta** (Fig. 4.6f-h). Las glándulas con porción secretora tubular son **glándulas tubulares**; aquellas con porción secretora redondeada son **glándulas acinares** (*acin-* = baya), llamadas también **glándulas alveolares**. Las **glándulas tubuloacinares** tienen una porción tubular y una redondeada.

Las combinaciones de estas características constituyen los criterios de la siguiente clasificación estructural de las glándulas exocrinas pluricelulares:

I. Glándulas simples

- Tubulares simples.** La porción secretora tubular es recta y se une a un conducto único no ramificado (Fig. 4.6a), como por ejemplo las glándulas del intestino grueso.
- Tubulares ramificadas simples.** La porción secretora tubular está ramificada y se une a un conducto único no ramificado (Fig. 4.6b), como por ejemplo las glándulas gástricas.
- Tubulares espiraladas simples.** La porción secretora tubular es helicoidal y se une a un conducto único no ramificado (Fig. 4.6c), como por ejemplo las glándulas sudoríparas.
- Acinares simples.** La porción secretora es redonda y se une a un conducto único no ramificado (Fig. 4.6d), como por ejemplo las glándulas de la uretra peniana.
- Acinares ramificadas simples.** La porción secretora redonda está ramificada y se une a un conducto único no ramificado (Fig. 4.6e), como por ejemplo las glándulas sebáceas.

II. Glándulas compuestas

- Tubulares compuestas.** La porción secretora es tubular y se une a un conducto ramificado (Fig. 4.6f), como por ejemplo las glándulas bulbouretrales (de Cowper).
- Acinares compuestas.** La porción secretora es redonda y se une a un conducto ramificado (Fig. 4.6g), como por ejemplo las glándulas mamarias.
- Tubuloacinares compuestas.** La porción secretora es tubular y redonda y se une a un conducto ramificado (Fig. 4.6h), como por ejemplo las glándulas acinares del páncreas.

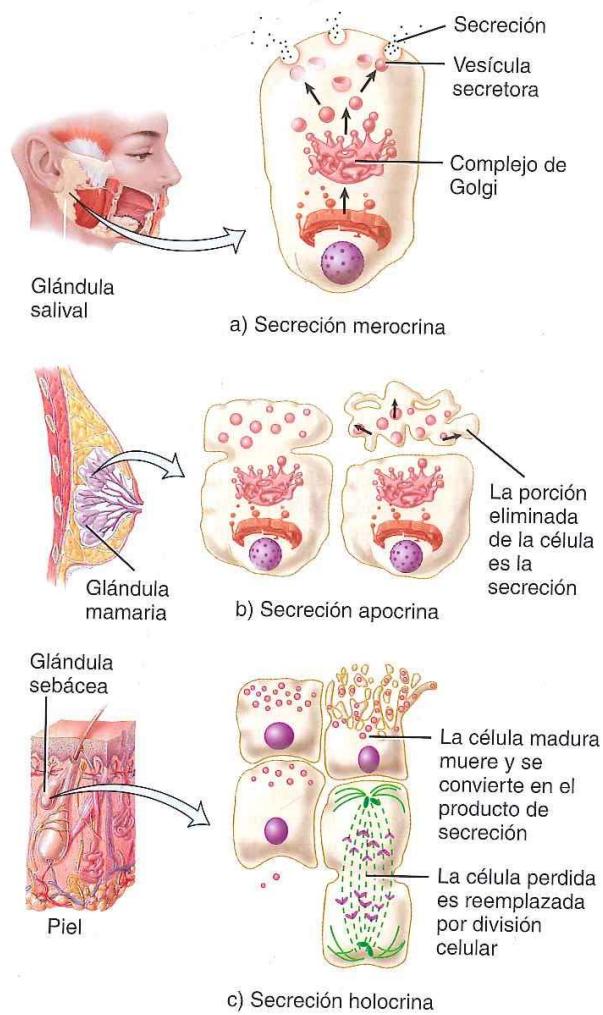
Clasificación funcional de las glándulas exocrinas

La clasificación funcional de las glándulas exocrinas se basa en el modo en que se liberan sus secreciones. Cada uno de estos procesos secretores comienza con el trabajo conjunto del retículo endoplasmático y el complejo de Golgi, que forman vesículas secretoras intracelulares con el producto de secreción en su interior. Las secreciones de las **glándulas merocrinias** (*mero-* = parte) se sintetizan en los ribosomas adheridos al retículo endoplasmático rugoso; se procesan, se clasifican y se empaquetan en el complejo de Golgi, y son liberadas fuera de la célula en vesículas secretoras por exocitosis (Fig. 4.7a). La mayoría de las glándulas exocrinas del cuerpo son merocrinas. Algunos ejemplos son las glándulas salivales y el páncreas. Las **glándulas apocrinas** acumulan sus productos de secreción en la superficie apical de la célula secretora. Luego, esta porción de la célula se desprende por exocitosis del resto de la célula que libera esta secreción (Fig. 4.7b). La célula se repara y repite el proceso. Bajo microscopía electrónica, se confirmó que este es el mecanismo de secreción de las grasas de la leche en las glándulas mamarias. La evidencia reciente revela que las glándulas sudoríparas de la piel, llamadas glándulas sudo-

riparas apocrinas debido al modo de secreción, en realidad tienen secreción merocrina. Las células de las **glándulas holocrinas** (*holo-* = entero) acumulan el producto de secreción en el citosol. Al madurar, la célula secretora se rompe y se convierte en el producto de secreción (Fig. 4.7c). Debido a que la célula se rompe en este modo de secreción, el producto contiene grandes cantidades de lípidos de la membrana plasmática y las membranas intracelulares. La célula eliminada es reemplazada por una nueva. Un ejemplo de glándulas holocrinas son las glándulas sebáceas de la piel.

FIGURA 4.7 Clasificación funcional de las glándulas exocrinas pluricelulares.

La clasificación funcional de las glándulas exocrinas pluricelulares se basa en si la secreción es un producto celular o es una parte o la totalidad de la célula glandular.



? ¿A qué tipo pertenecen las glándulas sebáceas?
¿Y las glándulas salivales?

Preguntas de revisión

6. Describa las diferentes disposiciones en capas y formas celulares del tejido epitelial.
7. ¿Qué características son comunes a todos los tejidos epiteliales?
8. ¿Cómo es la estructura de los siguientes tejidos epiteliales respecto de su función: pavimentoso simple, cúbico simple, cilíndrico simple (ciliado y no ciliado), cilíndrico seudoestratificado (ciliado y no ciliado), pavimentoso estratificado (queratinizado y no queratinizado), cúbico estratificado, cilíndrico estratificado y transicional?
9. ¿Dónde se localizan el endotelio y el mesotelio?
10. ¿Cuál es la diferencia entre las glándulas exocrinas y las endocrinas? Nombre y mencione ejemplos de los tres tipos funcionales de glándulas exocrinas según la forma en que se liberan sus secreciones.

Células del tejido conectivo

Las células embrionarias llamadas células mesenquimáticas dan origen a las células del tejido conectivo. Cada tipo de tejido conectivo contiene un tipo de células inmaduras cuyo nombre termina en "blastos", que significa "brote." Estas células inmaduras se llaman **fibroblastos** en el tejido conectivo laxo y denso (que se describirá en breve), **condroblastos** en el cartílago y **osteoblastos** en el hueso. Los blastocitos mantienen la capacidad de división celular y secretan la matriz extracelular característica del tejido. En algunos tejidos conectivos, una vez producida la matriz extracelular, las células inmaduras se diferencian en células maduras cuyos nombres terminan en "citos", como **fibrocitos**, **condrocitos** y **osteocitos**. Las células maduras tienen menor capacidad de división celular y formación de matriz extracelular, y participan sobre todo en el control y el mantenimiento de la matriz extracelular.

Las células del tejido conectivo varían de acuerdo con el tipo de tejido e incluyen las siguientes (**Fig. 4.8**):

1. **Fibroblastos** (*fibro-* = fibras): son células planas, grandes, con ramificaciones. Se encuentran en todos los tejidos conectivos generales y suelen ser los más numerosos.
2. **Macrófagos** (*macro-* = grande; *-fagos* = ingieren): son fagocitos que se desarrollan a partir de *monocitos*, un tipo de glóbulos blancos. Los *macrófagos fijos* residen en un tejido en particular; algunos ejemplos son los macrófagos alveolares en los pulmones o los esplénicos en el bazo. Los *macrófagos circulantes* tienen la capacidad de trasladarse a través de los tejidos hasta los sitios de infección o inflamación, donde realizan fagocitosis.
3. **Células plasmáticas** (*plasmocitos*): se encuentran en muchos lugares del cuerpo, pero la mayoría está en el tejido conectivo, en especial en el tubo digestivo y las vías respiratorias.
4. **Mastocitos**: participan en la respuesta inflamatoria, la reacción del cuerpo a una lesión o infección, y también pueden unirse a bacterias, ingerirlas y destruirlas.
5. **Adipocitos**: son células grasas o *adiposas*, células de tejido conectivo que almacenan triglicéridos (grasas). Se encuentran en profundidad en la piel y alrededor de órganos como el corazón y los riñones.
6. **Leucocitos** (glóbulos blancos): no se encuentran en cantidades significativas en el tejido conectivo normal. Sin embargo, en respuesta a ciertas situaciones migran desde la sangre hacia el tejido conectivo. Por ejemplo, los *neutrófilos* se acumulan en sitios de infección, y los *eosinófilos* migran a sitios de invasión parasitaria y respuestas alérgicas.

4.5 Tejido conectivo

OBJETIVOS

- **Explicar** las características generales del tejido conectivo.
- **Describir** la estructura, la ubicación y la función de los distintos tipos de tejido conectivo.

El **tejido conectivo** es uno de los más abundantes del cuerpo y está ampliamente distribuido. En sus diversas formas, tiene una variedad de funciones. Une, sostiene y fortifica otros tejidos corporales; protege y aísla los órganos internos; compartimentaliza estructuras como los músculos esqueléticos; sirve como principal sistema de transporte en el organismo (sangre, tejido conectivo líquido); es la ubicación primaria de las reservas de energía (tejido adiposo, o grasa); y es la principal fuente de respuestas inmunitarias.

Características generales del tejido conectivo

El tejido conectivo está formado por dos elementos básicos: matriz extracelular y células. La **matriz extracelular** del tejido conectivo es la sustancia ubicada entre sus células espaciadas. Está formada por *fibras proteicas* y *sustancia fundamental*, ubicada entre las células y las fibras. Las fibras extracelulares son secretadas por las células del tejido conectivo y son responsables de muchas de las propiedades funcionales del tejido. Además, controlan el medio acuoso circundante a través de moléculas de proteoglucanos específicas (que se describirán en breve). La estructura de la matriz extracelular determina gran parte de las cualidades del tejido. Por ejemplo, en el cartílago, la matriz extracelular es firme pero flexible. En cambio, la matriz extracelular del hueso es dura e inflexible.

Recuérdese que, a diferencia del tejido epitelial, el conectivo no se encuentra en las superficies del cuerpo. Además, por lo general el tejido conectivo está muy vascularizado, es decir, es rico en irrigación sanguínea. Las excepciones son el cartílago, que es avascular, y los tendones, que tienen poca irrigación sanguínea. A excepción del cartílago, el tejido conectivo, igual que el epitelial, tiene inervación.

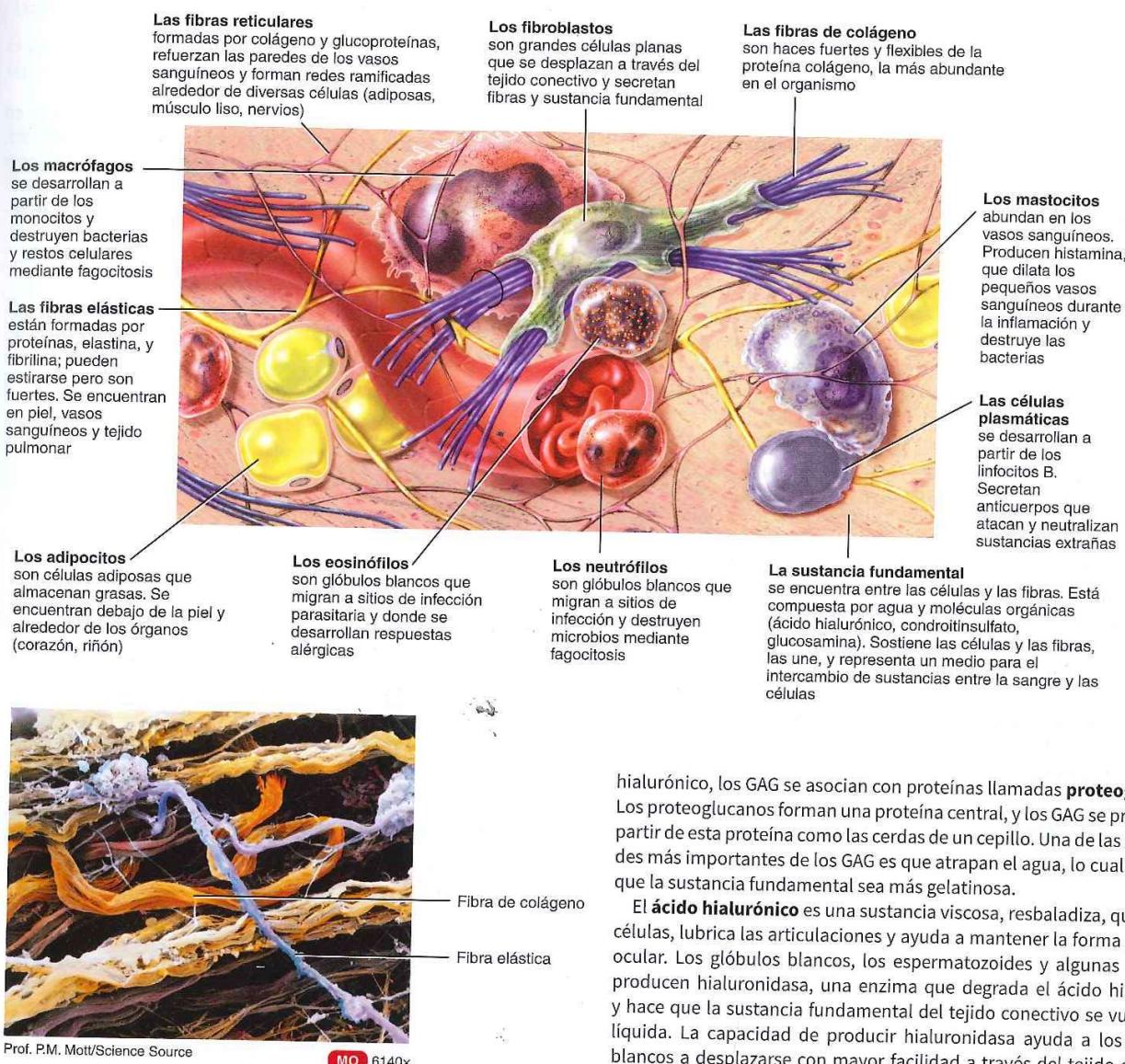
Matriz extracelular del tejido conectivo

Cada tipo de tejido conectivo tiene propiedades únicas según las sustancias extracelulares específicas que se encuentran entre las células. La matriz extracelular está formada por dos componentes principales: 1) sustancia fundamental y 2) fibras.

Sustancia fundamental Como ya se ha visto, la **sustancia fundamental** es el componente del tejido conectivo que se encuentra entre las células y las fibras. La sustancia fundamental puede ser líquida, semi-líquida, gelatinosa o calcificada. Sostiene las células, las une, almacena agua y constituye un medio para el intercambio de sustancias entre la sangre y las células. Tiene un papel activo en el desarrollo, migración,

FIGURA 4.8 Células y fibras representativas del tejido conectivo.

Los fibroblastos son las células más numerosas del tejido conectivo.



? ¿Cuál es la función de los fibroblastos?

proliferación y cambios de forma de los tejidos, y en el modo en que llevan a cabo sus funciones metabólicas.

La sustancia fundamental contiene agua y una conjunto de grandes moléculas orgánicas, muchas de las cuales son combinaciones complejas de polisacáridos y proteínas. Los polisacáridos incluyen ácido hialurónico, condroitinsulfato, dermatansulfato y queratansulfato. En forma colectiva, se denominan **glucosaminoglucanos (GAG)**. A excepción del ácido

hialurónico, los GAG se asocian con proteínas llamadas **proteoglicanos**. Los proteoglicanos forman una proteína central, y los GAG se proyectan a partir de esta proteína como las cerdas de un cepillo. Una de las propiedades más importantes de los GAG es que atrapan el agua, lo cual posibilita que la sustancia fundamental sea más gelatinosa.

El **ácido hialurónico** es una sustancia viscosa, resbaladiza, que une las células, lubrica las articulaciones y ayuda a mantener la forma del globo ocular. Los glóbulos blancos, los espermatozoides y algunas bacterias producen hialuronidasa, una enzima que degrada el ácido hialurónico y hace que la sustancia fundamental del tejido conectivo se vuelva más líquida. La capacidad de producir hialuronidasa ayuda a los glóbulos blancos a desplazarse con mayor facilidad a través del tejido conectivo para llegar a los sitios de infección y ayuda al espermatozoide a penetrar el ovocito durante la fecundación. También les facilita a las bacterias diseminarse con rapidez a través del tejido conectivo. El **condroitinsulfato** proporciona sostén y adherencia al cartílago, el hueso, la piel y los vasos sanguíneos. La piel, los tendones, los vasos sanguíneos y las válvulas del corazón contienen **dermatansulfato**; el hueso, el cartílago y la córnea del ojo contienen **queratansulfato**. La sustancia fundamental contiene también **proteínas de adhesión**, que permiten la unión de sus componentes entre sí y a la superficie de las células. La principal proteína de adhesión del tejido conectivo es la **fibronectina**, que se une a las fibras de colágeno (que se describirán en breve) y a la sustancia fundamental, y las mantiene unidas. La fibronectina también une las células a la sustancia fundamental.

Correlación clínica

Condroitinsulfato, glucosamina y enfermedad articular

El **condroitinsulfato** y la **glucosamina** (un proteoglucano) se utilizan como suplementos nutricionales solos o combinados para promover y mantener la estructura y la función del cartílago articular, aliviar el dolor en la artrosis y reducir la inflamación articular. Si bien estos suplementos benefician a algunos individuos con artrosis de moderada a grave, el beneficio es mínimo en casos leves. Se requieren más investigaciones para determinar el modo de acción y la razón por la cual ayudan a algunas personas y no a otras.

Fibras Existen tres tipos de **fibras** inmersas en la matriz extracelular entre las células: fibras de colágeno, fibras elásticas y fibras reticulares (**Fig. 4.8**). Su función es fortificar y servir de sostén al tejido conectivo.

Las **fibras de colágeno** (*cola-* = pegamento) son muy fuertes y resisten la tracción o el estiramiento pero no son rígidas, lo que permite la flexibilidad del tejido. Las propiedades de los distintos tipos de fibras de colágeno varían de un tejido a otro. Por ejemplo, las fibras de colágeno del cartílago y el hueso forman distintas asociaciones con las moléculas circundantes. Como resultado de estas asociaciones, las fibras de colágeno del cartílago están rodeadas por mayor cantidad de moléculas de agua que las del hueso, lo que le da al cartílago un efecto de almohadilla. A menudo, las fibras de colágeno se presentan en haces paralelos (véase **Cuadro 4.5A**, tejido conectivo regular denso). La disposición en haces confiere gran fuerza de tensión al tejido. Desde el punto de vista químico, las fibras de colágeno están formadas por la proteína **colágeno**, la más abundante del cuerpo, y representa cerca del 25% del total. Las fibras de colágeno se encuentran en la mayoría de los tipos de tejido conectivo, en especial el hueso, el cartílago, los tendones (unen el músculo al hueso) y los ligamentos (unen los huesos entre sí).

Correlación clínica

Esguince

A pesar de ser fuertes, los ligamentos pueden tensionarse más allá de su capacidad normal. Esto produce un **esguince**, estiramiento o torsión del ligamento. La articulación del tobillo se esguinza con mayor frecuencia. Debido a su mala irrigación, la curación de un esguince, incluso parcial, en un ligamento es un proceso lento. Un esguince total en un ligamento requiere cirugía.

Las **fibras elásticas**, de diámetro más pequeño que las de colágeno, se ramifican, se unen y forman una red fibrosa en el tejido conectivo. Una fibra elástica está formada por moléculas de la proteína elastina rodeadas por una glucoproteína llamada **fibrilina**, que brinda fuerza y estabilidad. Gracias a su estructura molecular única, las fibras elásticas son fuertes pero pueden estirarse hasta un 150% de su longitud sin romperse, y tienen la capacidad de recuperar su forma original. Esta propiedad se denomina elasticidad. Las fibras elásticas abundan en la piel, las paredes de los vasos sanguíneos y el tejido pulmonar.

Las **fibras reticulares** (*retículo-* = red): formadas por **colágeno** dispuesto en haces delgados cubiertos por glucoproteína, sostienen las paredes de los vasos sanguíneos y forman una red alrededor de las células en algunos tejidos, como el tejido conectivo areolar (*aréolo* = espacio pequeño), el tejido adiposo, las fibras nerviosas y el músculo liso. Las reticula-

res, producidas por los fibroblastos, son mucho más delgadas que las de colágeno y se ramifican formando redes. Al igual que las fibras de colágeno, las reticulares proporcionan sostén y fuerza. Abundan en el tejido conectivo reticular, que forma el **estroma** (base de sostén) de muchos órganos blandos, como el bazo y los ganglios linfáticos. Estas fibras también ayudan a formar la membrana basal.

Clasificación del tejido conectivo

Debido a la diversidad de células y matriz extracelular y a las diferencias en sus proporciones relativas, la clasificación del tejido conectivo no es única, sino que existen varias. Ofrecemos aquí el siguiente esquema de clasificación:

I. Tejido conectivo embrionario

- A. Mesénquima
- B. Tejido conectivo mucoso

II. Tejido conectivo maduro

- A. Tejido conectivo propiamente dicho
 - 1. Tejido conectivo laxo
 - a. Tejido conectivo areolar
 - b. Tejido conectivo adiposo
 - c. Tejido conectivo reticular
 - 2. Tejido conectivo denso
 - a. Tejido conectivo denso regular
 - b. Tejido conectivo denso irregular
 - c. Tejido conectivo elástico
- B. Tejido conectivo de sostén
 - 1. Cartílago
 - a. Cartílago hialino
 - b. Fibrocartílago
 - c. Cartílago elástico
 - 2. Tejido óseo
 - a. Hueso compacto
 - b. Hueso esponjoso
- C. Tejido conectivo líquido
 - 1. Sangre
 - 2. Linfa

Antes de examinar cada uno de los tipos de tejido conectivo en detalle, describiremos la base general del esquema de clasificación utilizado. El **tejido conectivo embrionario** se refiere a aquel presente en el embrión o el feto. El **tejido conectivo maduro** se refiere al presente al nacer que persiste durante toda la vida. Una categoría de tejido conectivo maduro es el **tejido conectivo propiamente dicho**, que es flexible y contiene una sustancia fundamental viscosa con abundantes fibras. Una segunda categoría de tejido conectivo maduro es el **tejido conectivo de sostén**, que protege y sostiene los tejidos blandos del cuerpo. La tercera categoría de tejido conectivo maduro es el **tejido conectivo líquido**, en el cual la matriz extracelular es líquida.

Tejido conectivo embrionario

Nótese que nuestro esquema de clasificación tiene dos subclases principales de tejido conectivo: embrionario y maduro. El **tejido conectivo**

embrionario tiene dos tipos: **tejido conectivo mesenquimatoso** y **mucoso**. El mesenquimatoso se encuentra principalmente en el *embrión*, el ser humano en desarrollo desde la fecundación hasta los dos meses de gestación, y en el *feto*, a partir del tercer mes de gestación (**Cuadro 4.3**).

Tejido conectivo maduro

El primer tipo de tejido conectivo maduro al que se hará mención es el **tejido conectivo propiamente dicho**.

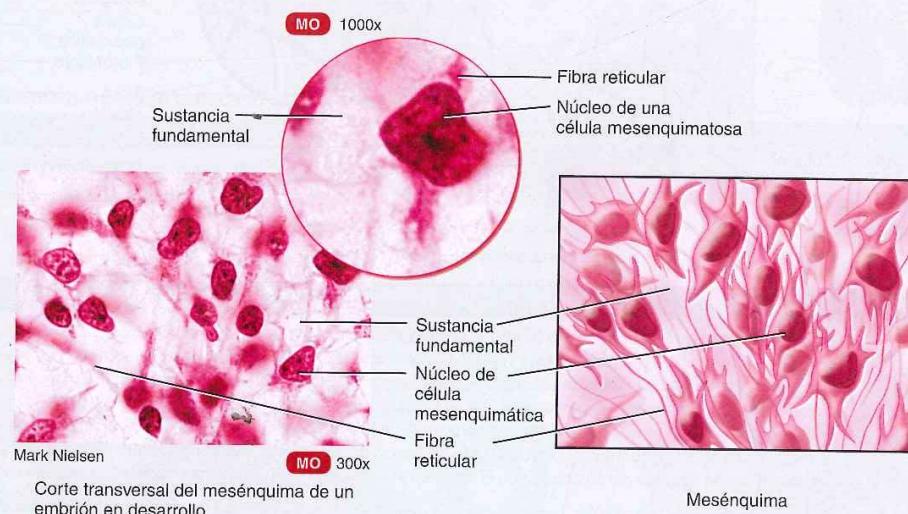
Tejido conectivo propiamente dicho Este tipo de tejido conectivo es flexible y posee una sustancia fundamental viscosa con abundantes fibras.

TEJIDO CONECTIVO LAXO Las fibras del **tejido conectivo laxo** están dispuestas entre las células en forma *espaciada*. Los tipos de tejido conectivo laxo son el tejido conectivo areolar, el tejido adiposo y el tejido conectivo reticular (**Cuadro 4.4**).

CUADRO 4.3 Tejido conectivo embrionario

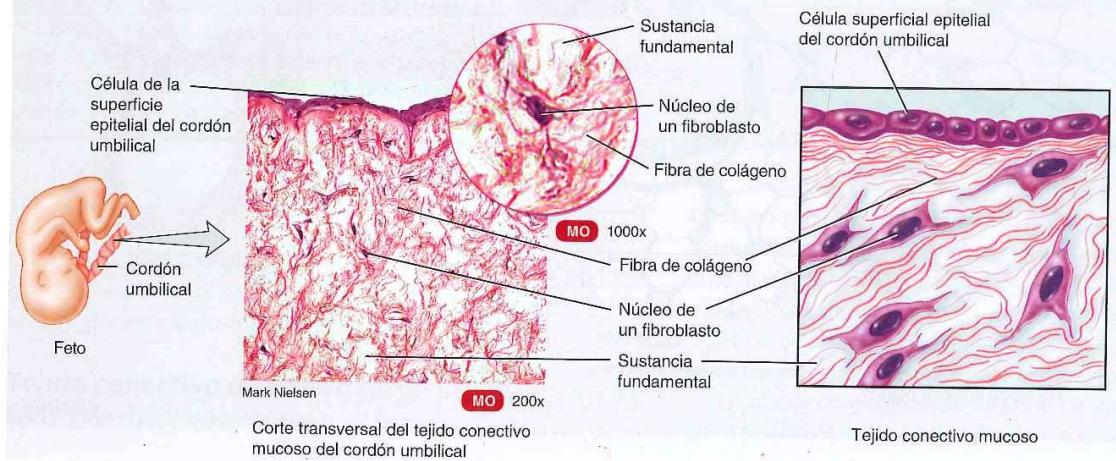
A. MESÉNQUIMA

Descripción	El mesénquima está formado por células mesenquimáticas de forma irregular embebidas en una sustancia fundamental semiliquida que contiene delicadas fibras reticulares
Ubicación	Casi exclusivamente debajo de la piel y en los huesos en desarrollo en el embrión; algunos en tejido conectivo del adulto, en especial en los vasos sanguíneos
Función	Forma casi todos los otros tipos de tejido conectivo



B. TEJIDO CONECTIVO MUCOSO (MUCOIDES)

Descripción	El tejido conectivo mucoso (mucoides) contiene fibroblastos dispersos embebidos en una sustancia fundamental gelatinosa, viscosa, que contiene fibras de colágeno finas
Ubicación	Cordón umbilical del feto
Función	Sostén



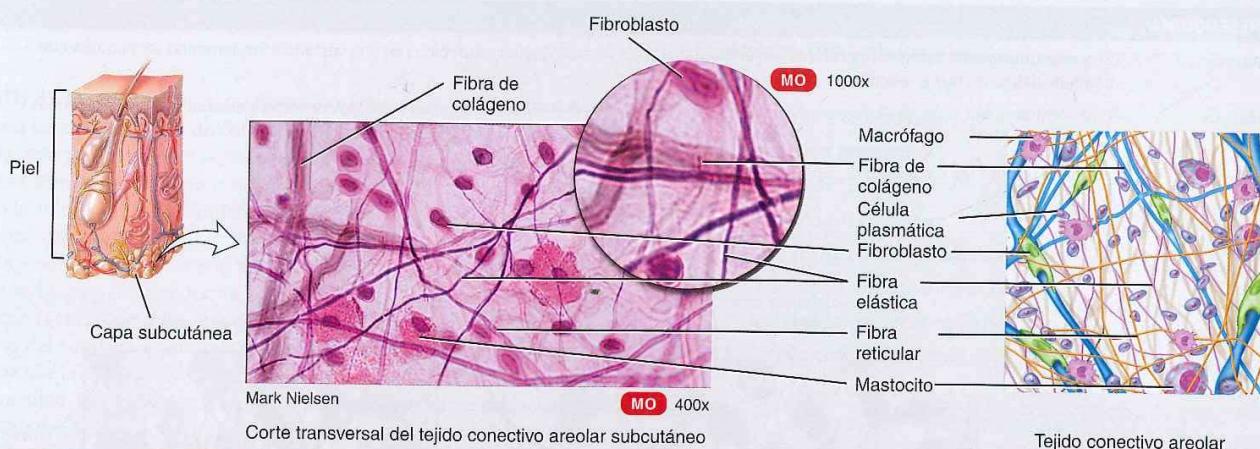
Continúa

CUADRO 4.4 Tejido conectivo maduro: tejido conectivo propiamente dicho – tejido conectivo laxo**A. TEJIDO CONECTIVO AREOLAR**

Descripción El **tejido conectivo areolar** es uno de los tejidos conectivos de mayor distribución en el cuerpo; está formado por fibras (de colágeno, elásticas, reticulares) dispuestas en forma aleatoria y varios tipos de células (fibroblastos, macrófagos, células plasmáticas, adipocitos, mastocitos, y algunos glóbulos blancos) embebidos en una sustancia fundamental semiliquida (ácido hialurónico, condroitinsulfato, dermatansulfato y queratansulfato)

Ubicación En y alrededor de casi todas las estructuras del cuerpo (por ello se denomina “sustancia de empaque” del cuerpo): en la capa subcutánea profunda de la piel; en la región papilar (superficial) de la dermis cutánea; en la lámina propia de las membranas mucosas; alrededor de los vasos sanguíneos, nervios y órganos del cuerpo

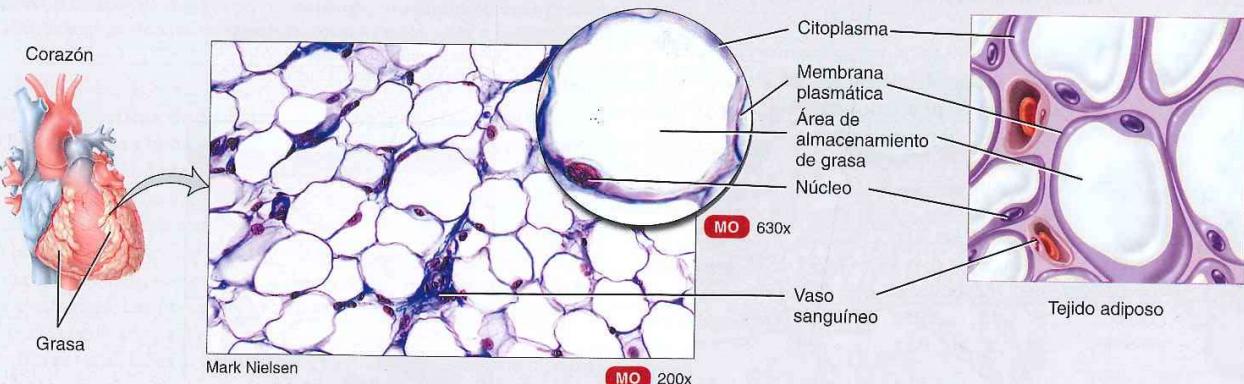
Función Fuerza, elasticidad, sostén

**B. TEJIDO ADIPOSO**

Descripción El **tejido adiposo** está formado por células que se derivan de los fibroblastos (llamadas *adipocitos*) que se especializan en el almacenamiento de triglicéridos (grasas) en una gran gota central. Las células se llenan con una única gota de triglicéridos, y el citoplasma y el núcleo son empujados hacia la periferia. Al aumentar de peso, aumenta la cantidad de células adiposas y se forman nuevos vasos sanguíneos. Así, una persona obesa tiene muchos más vasos sanguíneos que una persona delgada, lo que puede producir un aumento de la tensión arterial, pues el corazón debe trabajar más. La mayor parte del tejido adiposo del adulto es *tejido adiposo blanco* (como el que describimos). El *tejido adiposo pardo* es más oscuro debido a su mayor irrigación y a la presencia de numerosas mitocondrias pigmentadas que participan en la respiración celular aerobia. El tejido adiposo pardo abunda en el feto y en el lactante; los adultos poseen solo una pequeña cantidad

Ubicación Cerca del tejido conectivo areolar: capa subcutánea debajo de la piel, alrededor del corazón y los riñones, en la médula ósea amarilla, en almohadillas alrededor de las articulaciones, y detrás del globo ocular

Función Reduce la pérdida de calor a través de la piel; sirve como reserva de energía; sostiene y protege a los órganos. En el recién nacido, el tejido adiposo pardo genera calor para mantener la temperatura corporal adecuada. El tejido adiposo es también una excelente fuente de células madre, que se utilizan en medicina de rejuvenecimiento para reparar o reemplazar tejidos dañados



Continúa

Correlación clínica

Liposucción y criolipólisis

El procedimiento quirúrgico llamado **liposucción** o **lipectomía** por succión consiste en la succión de pequeñas cantidades de tejido adiposo de distintas zonas del cuerpo. En un tipo de liposucción, se realiza una incisión en la piel, se retira la grasa mediante un tubo de acero inoxidable, llamado **cánula**, con ayuda de una unidad de presión al vacío que la succiona. Se puede utilizar también ultrasonido y láser para licuar la grasa antes de eliminarla. Esta técnica puede utilizarse para modelar el contorno corporal en zonas como muslos, nalgas, brazos, mamas y abdomen, y para transferir grasa a otras zonas del cuerpo. Las complicaciones posquirúrgicas que pueden desarrollarse incluyen el ingreso de grasa a los vasos sanguíneos durante el procedimiento, con obstrucción del flujo sanguíneo, infección, pérdida de sensibilidad en el área, filtración de líquidos, lesión de estructuras internas y dolor posoperatorio intenso.

Existen varios tipos de liposucción. Una se denomina *liposucción tumescente*. En esta variante, se inyectan grandes cantidades de líquido durante el procedi-

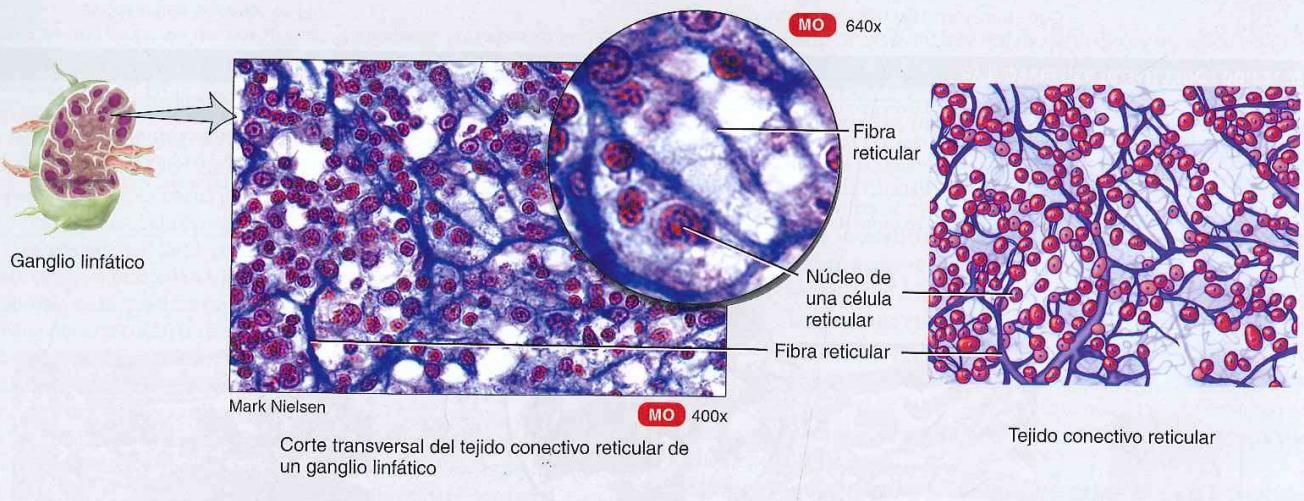
miento para producir hinchazón en el área por tratar (tumescencia). Esto crea un mayor espacio entre la piel y la capa subcutánea y ayuda a separar las células adiposas, lo que permite que la cánula se mueva con más facilidad a través de la grasa. Otra alternativa es la *liposucción asistida por ultrasonido*. En este procedimiento se utiliza una cánula especial que lleva ondas de sonido de alta frecuencia para licuar las células grasas, y se elimina el líquido mediante succión. Un tercer tipo de liposucción, llamada *liposucción asistida por láser*, utiliza una cánula especial que lleva energía láser para licuar las células grasas, y el líquido se elimina por succión.

La **criolipólisis** (*crio-* = frío) o **Coolsculpting®** consiste en la destrucción de las células grasas mediante aplicación externa controlada de frío. Dado que la grasa cristaliza más rápido que las células que rodean el tejido adiposo, el frío destruye las células adiposas sin dañar las células nerviosas, los vasos sanguíneos y otras estructuras. Pocos días después del procedimiento comienza la apoptosis (muerte programada genéticamente), y varios meses después, las células adiposas son eliminadas.

CUADRO 4.4 Tejido conectivo maduro: tejido conectivo propiamente dicho – tejido conectivo laxo (Continuación)

C. TEJIDO CONECTIVO RETICULAR

Descripción	El tejido conectivo reticular es una fina red de fibras reticulares entrelazadas (fibras de colágeno delgadas) y células reticulares
Ubicación	Estroma (marco de sostén) de hígado, bazo, ganglios linfáticos; médula ósea roja; lámina reticular de la membrana basal; alrededor de vasos sanguíneos y músculos
Función	Forma el estroma de los órganos; mantiene unidas a las células del músculo liso; filtra y elimina las células sanguíneas viejas en el bazo y los microbios en los ganglios linfáticos



TEJIDO CONECTIVO DENSO El **tejido conectivo denso** es un segundo tipo de tejido conectivo propiamente dicho que contiene mayor cantidad de fibras, más gruesas y de distribución más densa, y mucha menor cantidad de células que el tejido conectivo laxo. Existen tres tipos: regular denso, irregular denso y elástico (Cuadro 4.5).

Tejido conectivo de sostén Este tipo de tejido conectivo maduro incluye el cartílago y el hueso.

CARTÍLAGO El **cartílago** está formado por una densa red de fibras de colágeno y fibras elásticas embebidas firmemente en condroitinsulfato, un componente gelatinoso de la sustancia fundamental. El cartílago puede resistir mucha tensión que los tejidos conectivos laxo y denso. La fuerza del cartílago se debe a sus fibras de colágeno, y su *flexibilidad* (capacidad de retornar a su forma original luego de ser deformado) se debe al condroitinsulfato.

Al igual que otros tejidos conectivos, el cartílago tiene pocas células y gran cantidad de matriz extracelular. Se diferencia de otros tejidos conec-

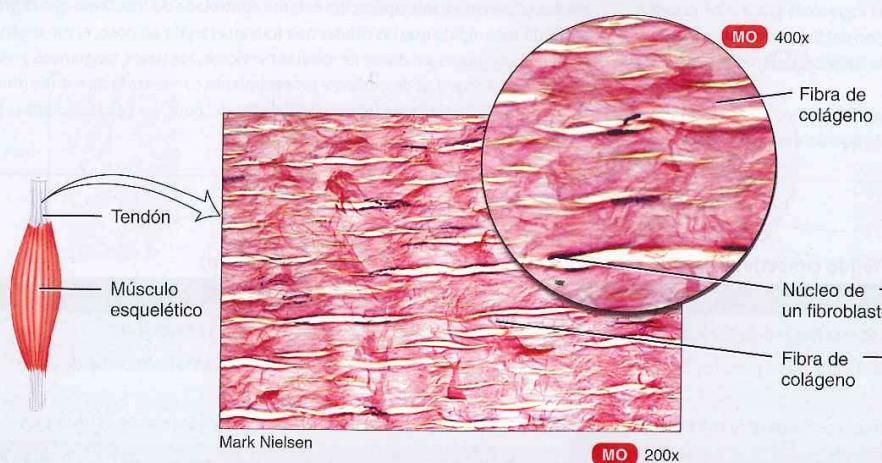
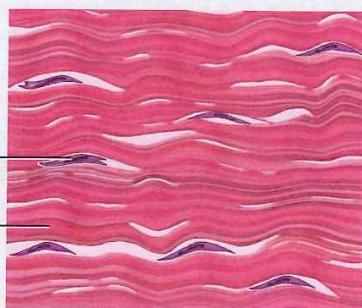
CUADRO 4.5 Tejido conectivo maduro: tejido conectivo propiamente dicho – tejido conectivo denso**A. TEJIDO CONECTIVO DENSO REGULAR**

Descripción	El tejido conectivo denso regular forma una matriz extracelular blanca brillante, formada principalmente por fibras de colágeno dispuestas regularmente en haces entre los que se ubican los fibroblastos en hileras. Las fibras de colágeno (estructuras proteicas secretadas por los fibroblastos) no son células vivas, por lo que los tendones y ligamentos dañados curan lentamente
Ubicación	Forma los tendones (unen el músculo al hueso), la mayoría de los ligamentos (unen los huesos entre sí) y las aponeurosis (tendones en forma de lámina que unen los músculos entre sí y el músculo al hueso)
Función	Permite una unión fuerte entre diversas estructuras. Soporta la tensión a lo largo del eje de las fibras



Steve Gschmeissner/Getty Images

MEB

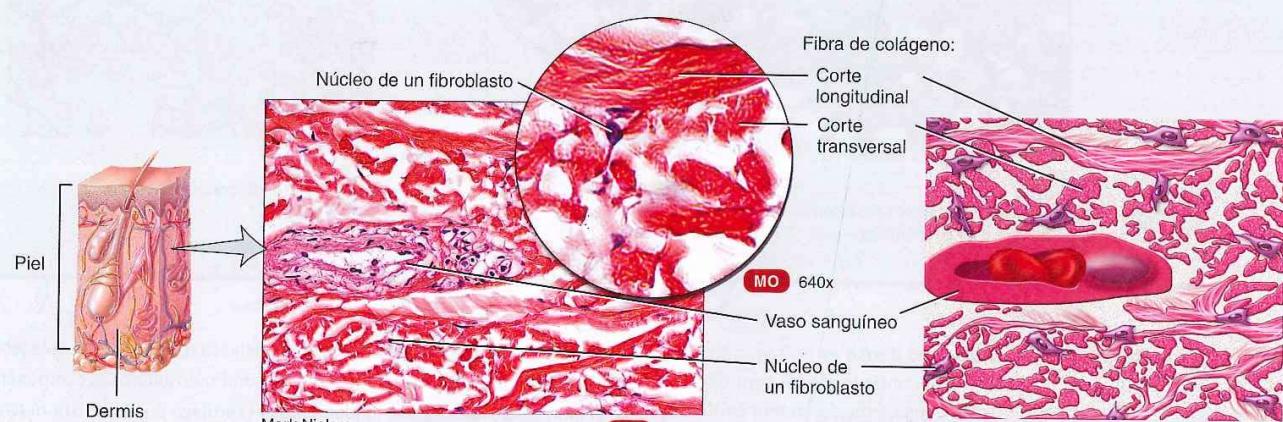


Corte transversal del tejido conectivo denso regular de un tendon

Tejido conectivo denso regular

B. TEJIDO CONECTIVO DENSO IRREGULAR

Descripción	El tejido conectivo denso irregular está formado por fibras de colágeno dispuestas en forma <i>irregular</i> con algunos fibroblastos
Ubicación	A menudo se presenta en láminas, como las fascias (tejido por debajo de la piel y alrededor de los músculos y otros órganos), la región reticular (profunda) de la dermis cutánea, el pericardio fibroso del corazón, el periostio del hueso, el pericondrio del cartílago, las cápsulas articulares, cápsulas membranosas alrededor de distintos órganos (riñones, hígado, testículos, ganglios linfáticos); también en las válvulas cardíacas
Función	Permite fuerza de tensión en varias direcciones



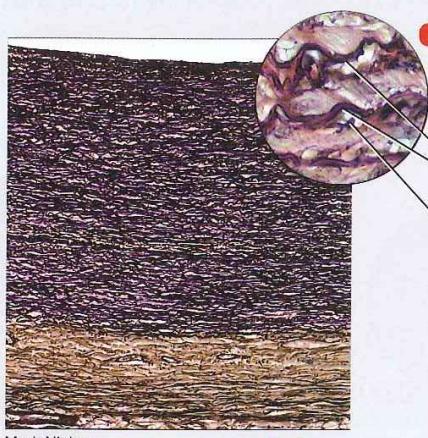
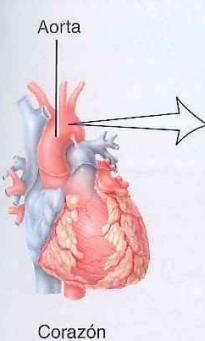
Corte transversal del tejido conectivo denso irregular de la región reticular de la dermis

Tejido conectivo denso irregular

Continúa

CUADRO 4.5 Tejido conectivo maduro: tejido conectivo propiamente dicho – tejido conectivo denso (Continuación)
C. TEJIDO CONECTIVO ELÁSTICO

Descripción	El tejido conectivo elástico está formado principalmente por fibras elásticas con fibroblastos entre ellas; el tejido sin tinción es amarillento
Ubicación	Tejido pulmonar, paredes elásticas de las arterias, tráquea, tubos bronquiales, cuerdas vocales verdaderas, ligamento suspensorio del pene, algunos ligamentos intervertebrales
Función	Permite el estiramiento de diversos órganos; es fuerte y puede recobrar su forma original luego de ser estirado. La elasticidad es importante para el normal funcionamiento del tejido pulmonar (retorna a su forma original durante la exhalación) y las arterias elásticas (se retraen entre latidos cardíacos para ayudar a mantener el flujo sanguíneo)

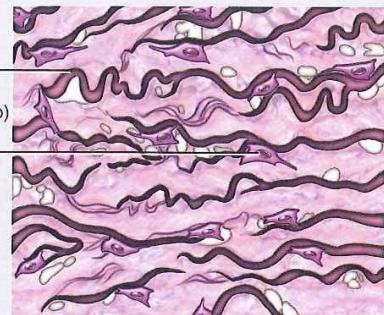


Corte transversal del tejido conectivo de la aorta
Mark Nielsen

MO 400x

Laminillas elásticas (láminas de material elástico)

Núcleo de un fibroblasto



Tejido conectivo elástico

tivos en que no posee nervios ni vasos sanguíneos en su matriz extracelular. El cartílago no tiene irrigación sanguínea porque secreta un *factor antiangiogénesis* (*anti-* = contra; *-angio* = vasos; *-génesis* = producción), una sustancia que impide el crecimiento de los vasos sanguíneos. Debido a esta propiedad, el factor antiangiogénesis está siendo estudiado como posible tratamiento contra el cáncer. Si se pudiera frenar la producción de vasos sanguíneos nuevos por parte de las células cancerosas, sería posible detener su rápida división y expansión celular.

Las células del cartílago maduro, llamadas **condrocitos** (*condro-* = cartílago), se presentan solas o en grupos en espacios conocidos como **lagunas**, en la matriz extracelular. La superficie de los cartílagos está rodeada por una cubierta de tejido conectivo irregular denso llamado **pericondrio**, que contiene vasos sanguíneos y nervios y es fuente de nuevas células del cartílago. Dado que no posee irrigación sanguínea, el cartílago cicatriza mal después de una lesión.

Las células y la matriz extracelular embebida en colágeno del cartílago forman un material fuerte y firme que resiste la tensión (estiramiento), la compresión y el cizallamiento (tracción en direcciones opuestas). El condroitinsulfato de la matriz extracelular es responsable de la flexibilidad del cartílago. Debido a estas propiedades, el cartílago tiene un importante papel como tejido de sostén en el cuerpo. Es también precursor del hueso, y forma parte de casi todo el esqueleto embrionario. Durante el desarrollo, el hueso va reemplazando en forma gradual al cartílago, que persiste luego del nacimiento como la placa dentro del hueso que le permite aumentar su longitud durante los años de crecimiento. El cartílago también persiste durante toda la vida como superficie articular en la mayoría de las articulaciones.

Existen tres tipos de cartílago: cartílago hialino, fibrocartílago y cartílago elástico (**Cuadro 4.6**).

Desde el punto de vista metabólico, el cartílago es un tejido relativamente inactivo, de crecimiento lento. Cuando se produce una lesión o una inflamación, la reparación es lenta, en gran medida debido a que el cartílago es avascular. Las sustancias necesarias para la reparación y las células sanguíneas que participan en la reparación de los tejidos deben difundir o migrar hacia el cartílago. El crecimiento del cartílago sigue dos patrones básicos: intersticial y por aposición.

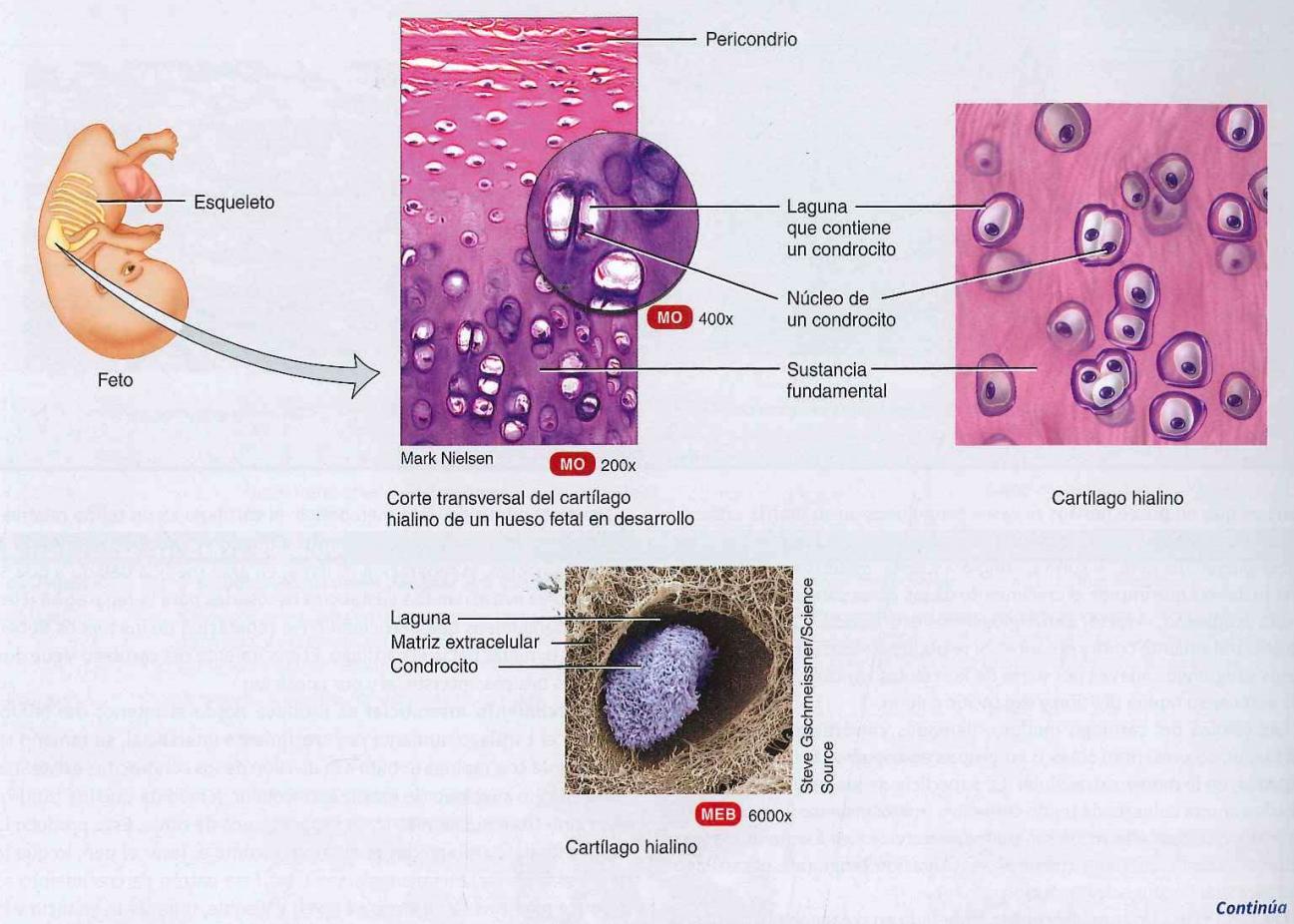
El **crecimiento intersticial** se produce desde el interior del tejido. Cuando el cartílago aumenta por crecimiento intersticial, su tamaño se incrementa con rapidez debido a la división de los condrocitos existentes y el depósito continuo de matriz extracelular. A medida que los condrocitos sintetizan nueva matriz, se separan unos de otros. Esto produce la expansión del cartílago desde el interior, como al levantar el pan, lo que le da el nombre de crecimiento *intersticial*. Este patrón de crecimiento se produce mientras el cartílago es joven y flexible, durante la infancia y la adolescencia.

El **crecimiento por aposición** se produce en la superficie externa del tejido. Cuando el cartílago crece por aposición, las células de la capa celular interna del pericondrio se diferencian en condroblastos. A medida que continúa la diferenciación, los condroblastos se rodean de sustancia extracelular y se convierten en condrocitos. Como resultado, se acumula matriz debajo del pericondrio en la superficie externa del cartílago, lo que produce un crecimiento a lo ancho. El crecimiento por aposición comienza más tarde que el intersticial y continúa durante la adolescencia.

TEJIDO ÓSEO El cartílago, las articulaciones y los huesos forman el sistema esquelético, que sostiene los tejidos blandos, protege estructuras delicadas y actúa junto con los músculos para generar el movimiento.

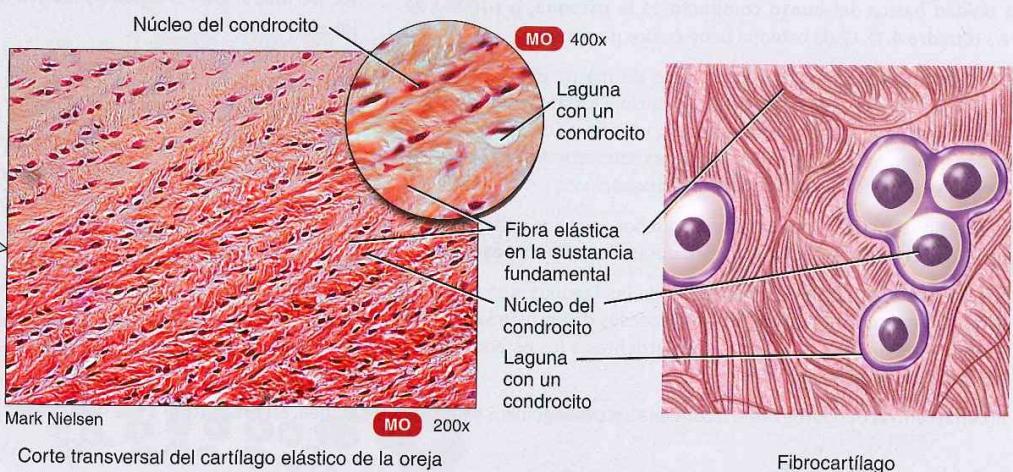
CUADRO 4.6 Tejido conectivo maduro: tejido conectivo de sostén – cartílago**A. CARTÍLAGO HIALINO**

Descripción	El cartílago hialino (<i>hyalinos</i> = vítreo) contiene un gel flexible que constituye una sustancia fundamental de aspecto brillante blanco azulado (se puede teñir de rosa o violeta en la preparación para el examen microscópico; las fibras de colágeno finas no son visibles con técnicas de tintación ordinarias); se encuentran condrocitos prominentes en lagunas rodeadas por pericondrio (a excepción del cartílago articular y el cartílago de la placa epifisaria, que permite el crecimiento del hueso)
Ubicación	Es el cartílago más abundante del cuerpo; en los extremos de los huesos largos, el extremo anterior de las costillas, la nariz, parte de la laringe, tráquea, bronquios, tubos bronquiales, esqueleto embrionario y fetal
Función	Brinda una superficie lisa para el movimiento en las articulaciones, flexibilidad, y sostén: es el tipo de cartílago más débil y puede sufrir fracturas

*Continúa*

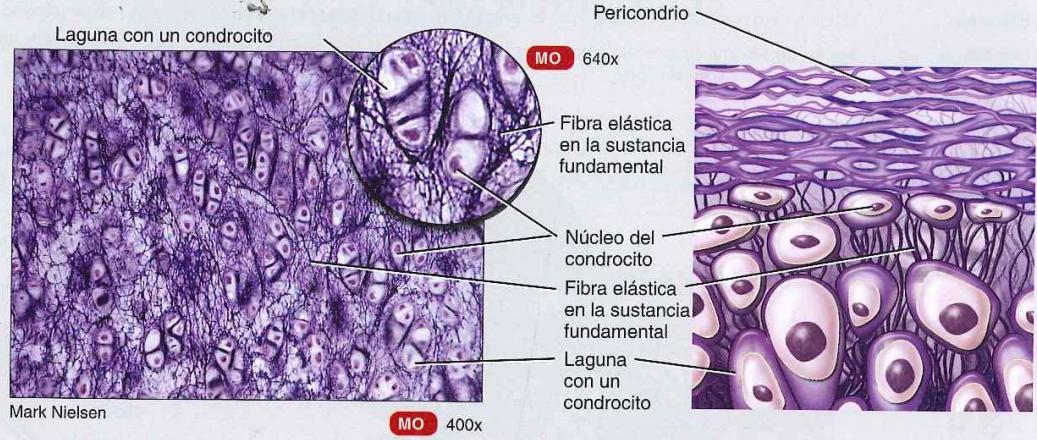
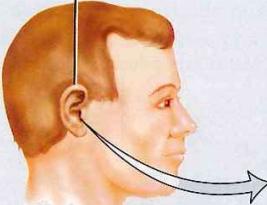
CUADRO 4.6 Tejido conectivo maduro: tejido conectivo propiamente dicho – tejido conectivo denso (Continuación)
B. FIBROCARTÍLAGO

Descripción	El fibrocartílago posee condrocitos ubicados entre haces de fibras de colágeno claramente visibles en la matriz extracelular; carece de pericondrio
Ubicación	Sinfisis del pubis (articulación anterior de los huesos de la cadera), discos intervertebrales, meniscos (almohadillas cartilaginosas) de la rodilla, partes de los tendones que se insertan en el cartílago
Función	Sostiene y une estructuras. Proporciona fuerza y rigidez. Es el tipo de cartílago más fuerte


C. CARTÍLAGO ELÁSTICO

Descripción	El cartílago elástico posee condrocitos ubicados en una red de fibras elásticas dentro de la matriz extracelular; posee pericondrio
Ubicación	Se ubica en el extremo superior de la laringe (epiglotis), parte del oído externo (oreja), trompa auditiva (de Eustaquio)
Función	Provee fuerza y elasticidad; mantiene la forma de ciertas estructuras

Cartílago elástico de la oreja



Los huesos almacenan calcio y fósforo; albergan la médula ósea roja, que produce las células sanguíneas; y contienen la médula ósea amarilla, sitio de almacenamiento de triglicéridos. Los huesos son órganos compuestos por distintos tejidos conectivos, entre ellos el tejido óseo, el periorstio, la médula ósea roja y la amarilla, y el endostio (membrana que reviste el espacio interno del hueso que almacena médula ósea amarilla). El tejido óseo se clasifica como compacto o esponjoso según la organización de su matriz extracelular y sus células.

La unidad básica del **hueso compacto** es la **osteona**, o *sistema de Havers* (**Cuadro 4.7**). Cada osteona tiene cuatro partes:

1. Las **laminillas** son anillos concéntricos de matriz extracelular formada por sales minerales (sobre todo calcio y fosfatos) que le dan al hueso su dureza y fuerza de compresión, y las fibras de colágeno, que le dan la fuerza de tensión. Las laminillas son responsables de la naturaleza compacta de este tipo de tejido óseo.
2. Las **lagunas**, ya mencionadas, son pequeños espacios entre las laminillas que contienen células óseas maduras, llamadas **osteocitos**.
3. Los **canalículos**, que se proyectan desde las lagunas, son redes de canales diminutos que contienen los procesos de los osteocitos. Son vías a través de las cuales llegan los nutrientes a los osteocitos y se eliminan los desechos de ellos.
4. El **canal central** o *canal de Havers*, contiene vasos sanguíneos y nervios.

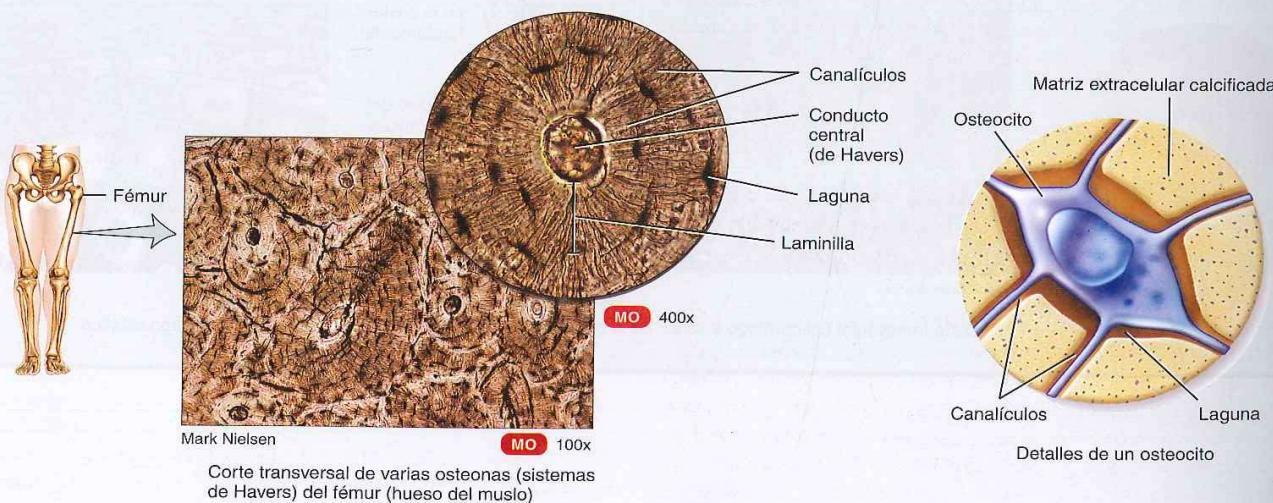
El **hueso esponjoso** carece de osteonas. Está formado por columnas óseas llamadas **trabéculas**, que contienen laminillas, osteocitos, lagunas y canalículos. Los espacios entre las trabéculas están llenos de médula ósea roja. En el **Capítulo 6** se presentará la histología del tejido óseo en mayor detalle.

Tejido conectivo líquido Este es el último tipo de tejido conectivo maduro. En el **tejido conectivo líquido**, la matriz extracelular es líquida.

TEJIDO SANGUÍNEO La **sangre**, uno de los tejidos conectivos líquidos, tiene una matriz extracelular líquida, llamada plasma sanguíneo, y elementos formes. El **plasma sanguíneo** es un líquido amarillo pálido formado principalmente por agua con una amplia variedad de sustancias disueltas – nutrientes, desechos, enzimas, proteínas plasmáticas, hormonas, gases respiratorios, iones-. En el plasma se hallan suspendidos los **elementos formes** –glóbulos rojos (eritrocitos), glóbulos blancos (leucocitos) y plaquetas (trombocitos)– (**Cuadro 4.8**). Los **glóbulos rojos** transportan oxígeno hacia las células del cuerpo y eliminan el dióxido de carbono de estas. Los **glóbulos blancos** participan en la fagocitosis, la inmunidad y las reacciones alérgicas. Las **plaquetas** participan en la coagulación sanguínea. En el **Capítulo 19** se hará referencia a la sangre en mayor detalle.

CUADRO 4.7 Tejido conectivo maduro: tejido conectivo de sostén – tejido óseo

Descripción	El tejido óseo compacto está formado por osteonas (sistema de Havers) que contienen láminas, lagunas, osteocitos, canalículos, y conductos centrales (de Havers). El hueso esponjoso , en cambio (véase Fig. 6.3), está formado por columnas delgadas llamadas trabéculas; en los espacios entre las trabéculas, se encuentra la médula ósea roja
Ubicación	El tejido óseo compacto y el tejido óseo esponjoso forman los huesos del cuerpo
Función	Sostén, protección, almacenamiento; alberga el tejido formador de células sanguíneas; sirve como palanca que actúa junto con el tejido muscular para permitir el movimiento



CUADRO 4.8 Tejido conectivo maduro: tejido conectivo líquido – sangre

Descripción	La sangre está formada por plasma y elementos formes: glóbulos rojos (eritrocitos), glóbulos blancos (leucocitos), plaquetas (trombocitos)
Ubicación	Dentro de los vasos sanguíneos (arterias, arteriolas, capilares, vénulas, venas) y en las cavidades del corazón
Función	Glóbulos rojos: transportan oxígeno y parte del dióxido de carbono; glóbulos blancos: realizan fagocitosis y son mediadores de las reacciones alérgicas y de las respuestas inmunitarias; plaquetas: esenciales para la coagulación sanguínea

LINFA La **linfa** es el líquido extracelular que fluye en los vasos linfáticos. Es un tejido conectivo líquido formado por varios tipos de células en una matriz extracelular líquida clara similar al plasma sanguíneo pero con menor cantidad de proteínas. La composición de la linfa varía en distintas zonas del cuerpo. Por ejemplo, la linfa proveniente de los ganglios linfáticos incluye muchos linfocitos, un tipo de glóbulos blancos, a diferencia de la linfa del intestino delgado, que tiene gran cantidad de lípidos absorbidos de la dieta. En el [Capítulo 22](#) se hará referencia a la linfa en mayor detalle.

Preguntas de revisión

11. ¿En qué se diferencia el tejido conectivo del tejido epitelial?
12. ¿Qué características tienen las células, la sustancia fundamental y las fibras que forman el tejido conectivo?
13. ¿Cómo se clasifica el tejido conectivo? Enumere los distintos tipos.
14. Describa cómo se relaciona la estructura de los siguientes tipos de tejido conectivo con su función: tejido conectivo areolar, tejido adiposo, tejido conectivo reticular, tejido conectivo regular denso, tejido conectivo irregular denso, tejido conectivo elástico, cartílago hialino, fibrocartílago, cartílago elástico, tejido óseo, tejido sanguíneo y linfa.
15. ¿Qué diferencia hay entre el crecimiento intersticial y el crecimiento por aposición en el cartílago?

4.6 Membranas

OBJETIVOS

- **Definir** membrana.
- **Describir** la clasificación de las membranas.

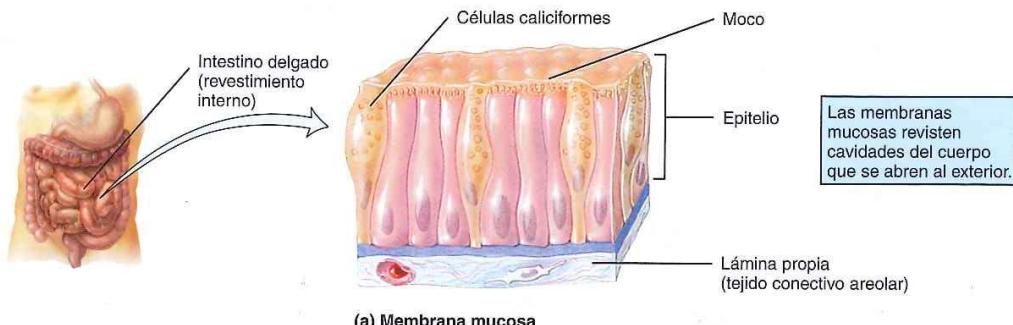
Las **membranas** son láminas planas de tejido flexible que cubren o revisten una parte del cuerpo. La mayoría de las membranas están formadas por una capa epitelial y una capa subyacente de tejido conectivo, y se denominan **membranas epiteliales**. Las principales membranas epiteliales del cuerpo son las mucosas, las serosas y la membrana cutánea o piel. Otro tipo de membrana, la sinovial, reviste las articulaciones y contiene tejido conectivo, pero no epitelio.

Membranas epiteliales

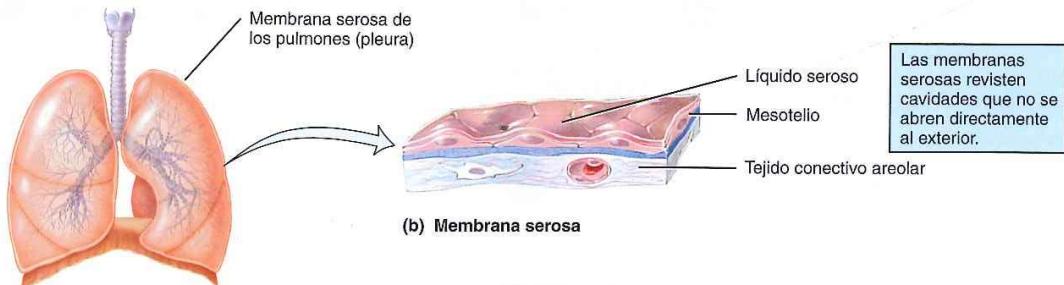
Membranas mucosas Las **membranas mucosas**, o *mucosas*, revisten cavidades del cuerpo que se abren directamente al exterior. Tapizan la totalidad de los aparatos digestivo, respiratorio y reproductor, y gran parte de las vías urinarias. Están formadas por una capa de epitelio y, debajo de esta, una capa de tejido conectivo ([Fig. 4.9a](#)).

FIGURA 4.9 Membranas.

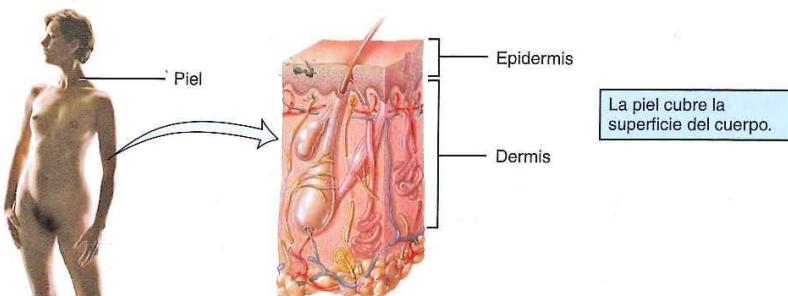
Una membrana es una lámina plana de tejidos que cubre o reviste una parte del cuerpo.



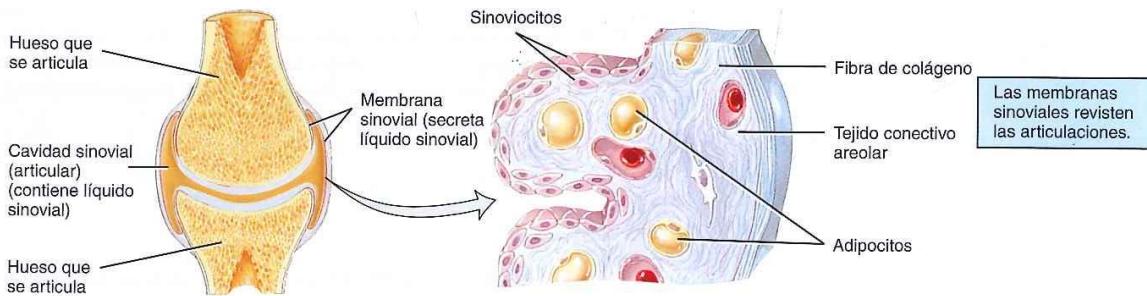
(a) Membrana mucosa



(b) Membrana serosa



(c) Piel (membrana cutánea)



(d) Membrana sinovial

? ¿Qué es una membrana epitelial?

La capa epitelial de una membrana mucosa es importante para el mecanismo de defensa del cuerpo, pues representa una barrera difícil de penetrar por microorganismos y otros patógenos. Las células suelen estar conectadas mediante uniones estrechas, de modo que no pueda filtrarse ninguna sustancia entre ellas. Las células caliciformes y otras células de la capa epitelial de la membrana mucosa secretan moco, un líquido resbaladizo que impide que estas cavidades se sequen. También atrapa partículas en las vías respiratorias y lubrifica el alimento que se desplaza por el tubo digestivo. Además, la capa epitelial secreta algunas de las enzimas necesarias para la digestión y es el sitio de absorción de alimentos y líquidos en el tubo digestivo. El epitelio de las membranas mucosas varía en gran medida en las distintas partes del cuerpo. Por ejemplo, la membrana mucosa del intestino delgado es un epitelio cilíndrico simple no ciliado, y las grandes vías aéreas del pulmón están formadas por epitelio cilíndrico ciliado seudoestratificado (véase Cuadro 4.1F).

La capa de tejido conectivo de una membrana mucosa está formada por tejido conectivo areolar y se llama **lámina propia** porque pertenece a la membrana mucosa. La lámina propia sostiene el epitelio, lo une a estructuras subyacentes, le confiere cierta flexibilidad a la membrana y protege a las estructuras subyacentes. Mantiene también a los vasos sanguíneos en su lugar e irriga al epitelio que la cubre. El oxígeno y los nutrientes difunden desde la lámina propia hacia el epitelio de cubierta; el dióxido de carbono y los desechos lo hacen en dirección opuesta.

Membranas serosas Las **membranas serosas** o **serosas** revisten las cavidades del cuerpo que no se comunican directamente con el exterior (cavidades torácica o abdominal) y cubren los órganos que se encuentran dentro de estas cavidades. Las membranas serosas están formadas por tejido conectivo areolar cubierto por mesotelio (epitelio pavimentoso simple) (Fig. 4.9b). En el Capítulo 1 se explicó que las membranas serosas tienen dos capas: la que cubre y se adhiere a la pared de la cavidad, llamada **capa parietal** (*pariet* = pared); la capa que cubre y se adhiere a los órganos ubicados dentro de la cavidad es la **capa visceral** (*viscera* = órgano del cuerpo) (véase Fig. 1.10a). El mesotelio de una membrana serosa secreta **líquido seroso**, un lubricante líquido que permite que los órganos se deslicen con facilidad uno sobre otro y contra las paredes de la cavidad.

En el Capítulo 1 se explicó que la membrana serosa que cubre la cavidad torácica y los pulmones es la **pleura**. La membrana serosa que reviste la cavidad del corazón y rodea al corazón es el **pericardio**. La membrana serosa que cubre la cavidad abdominal y los órganos abdominales es el **peritoneo**.

Membrana cutánea La **membrana cutánea** o *piel* cubre toda la superficie del cuerpo y está formada por una porción superficial llamada *epidermis* y una profunda llamada *dermis* (Figura 4.9c). La epidermis está formada por epitelio pavimentoso estratificado queratinizado, que protege los tejidos subyacentes, mientras que la dermis consta de tejido conectivo irregular denso y tejido conectivo areolar. En el Capítulo 5 se explicará en mayor detalle la membrana cutánea.

Membranas sinoviales

Las **membranas sinoviales** (*syn-* = unión, se refiere aquí al sitio de unión entre los huesos; *-ova* = huevo, debido a su similitud con la clara del huevo crudo) revisten las cavidades de articulaciones móviles (cavidades articulares). Al igual que las membranas serosas, las sinoviales revisten estructuras que no se abren al exterior. A diferencia de las membranas mucosas, serosas y cutáneas, carecen de epitelio y, por lo tanto, no son membranas epiteliales. Las membranas sinoviales están compuestas por una capa discontinua de células llamadas **sinoviocitos**, cercanos a la cavidad sinovial (el espacio entre los huesos), y una capa de tejido conectivo (areolar y adiposo) por debajo de los sinoviocitos (Fig. 4.9d). Los sinoviocitos secretan algunos componentes del líquido sinovial. El **líquido sinovial** lubrifica y nutre el cartílago que cubre los huesos en las articulaciones móviles y contiene macrófagos que eliminan los microbios y restos celulares de la cavidad articular.

Preguntas de revisión

16. Defina los siguientes tipos de membranas: mucosa, serosa, cutánea y sinovial. ¿En qué se diferencian entre sí?
17. ¿En qué lugar del cuerpo se ubica cada tipo de membrana? ¿Cuáles son sus funciones?

4.7 Tejido muscular

OBJETIVOS

- **Describir** las características generales del tejido muscular
- **Comparar** la estructura, la ubicación y el modo de control del músculo esquelético, el cardíaco y el liso.

El **tejido muscular** está formado por células elongadas llamadas **fibras musculares** o **miocitos**, que pueden utilizar ATP para generar fuerza. Como consecuencia de esto, el tejido muscular produce movimientos corporales, mantiene la postura y genera calor. También ofrece protección. Sobre la base de su ubicación y de ciertas características estructurales y funcionales, el tejido muscular se clasifica en tres tipos: **esquelético**, **cardíaco** y **liso** (Cuadro 4.9).

En el Capítulo 10 se explica en mayor detalle el tejido muscular.

Preguntas de revisión

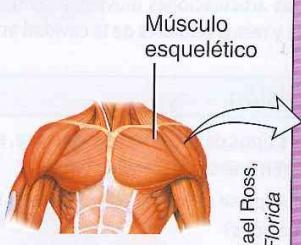
18. ¿Qué tipos de tejido muscular son estriados? ¿Cuál es liso?
19. ¿Qué tipos de tejido muscular tienen uniones comunicantes?

CUADRO 4.9 Tejido muscular**A. TEJIDO MUSCULAR ESQUELÉTICO**

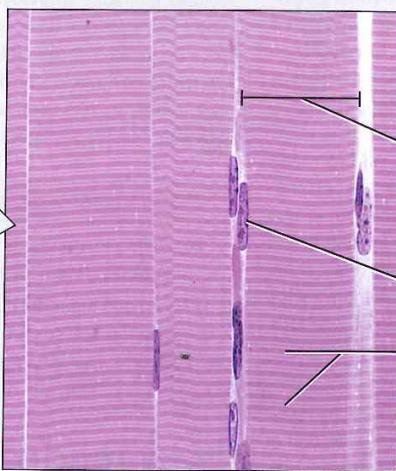
Descripción El **tejido muscular esquelético** está formado por fibras estriadas cilíndricas largas (las estrías son bandas claras y oscuras alternadas dentro de las fibras; visibles al microscopio óptico). Las fibras del músculo esquelético tienen una longitud muy variable, desde pocos centímetros en los músculos cortos hasta 30-40 cm (12-16 pulgadas) en los más largos. Una fibra muscular es una célula cilíndrica multinucleada, con núcleos en su periferia. El músculo esquelético se considera *voluntario* pues su contracción y relajación tienen control consciente.

Ubicación En general, unido a los huesos mediante tendones

Función Movimiento, postura, producción de calor, protección



Cortesía Michael Ross,
University of Florida



MO 400x

Corte longitudinal del tejido muscular esquelético

Fibra (célula)
muscular
esquelética

Núcleo
Estrías



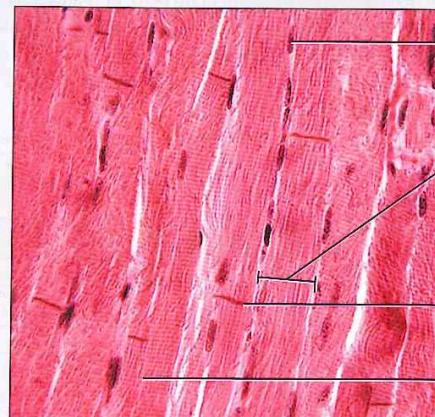
Fibra
muscular esquelética

B. TEJIDO MUSCULAR CARDÍACO

Descripción El **tejido muscular cardíaco** está formado por fibras estriadas ramificadas con un único n úcleo central (en ocasiones dos). Se unen en sus extremos mediante engrosamientos transversales de la membrana plasmática llamados *discos intercalares*, que contienen desmosomas y uniones comunicantes. Los desmosomas fortalecen el tejido y mantienen las fibras unidas durante las contracciones vigorosas. Las uniones comunicantes son una vía para la rápida conducción de las señales eléctricas (potenciales de acción musculares) a través del corazón. Su control es *involuntario* (no consciente).

Ubicación Paredes del corazón

Función Bombea la sangre a todo el cuerpo



Mark Nielsen MO 500x

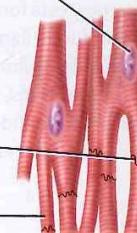
Corte longitudinal del tejido muscular cardíaco

Núcleo

Fibra (célula)
muscular cardíaca

Disco
intercalar

Estrías

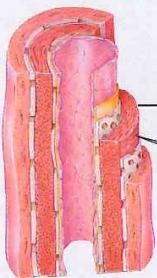


Fibras musculares
cardíacas

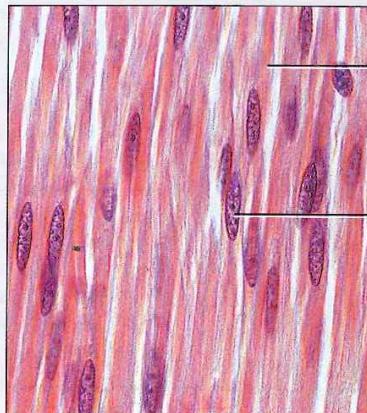
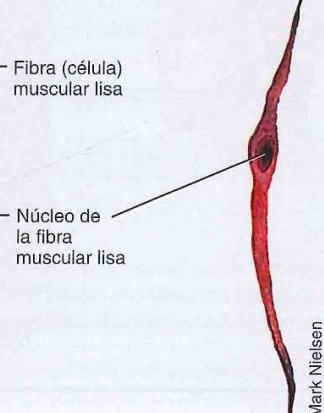
Continúa

CUADRO 4.9 Tejido muscular (Continuación)
C. TEJIDO MUSCULAR LISO

Descripción	El tejido muscular liso está formado por fibras no estriadas (carecen de estrías, de ahí la denominación <i>liso</i>). Las fibras del músculo liso son células pequeñas en forma de huso, más gruesas en su parte media, y más delgadas en sus extremos, que contienen un único n úcleo central. En algunos tipos de músculo liso, las fibras individuales están conectadas mediante uniones comunicantes (p. ej., en las paredes de los intestinos). Es involuntario; puede producir fuertes contracciones pues se contraen muchas fibras musculares al unísono. En zonas donde no hay uniones comunicantes, como en el iris de los ojos, las fibras musculares lisas se contraen en forma individual, al igual que el músculo esquelético.
Ubicación	Iris de los ojos, paredes de estructuras internas huecas como los vasos sanguíneos, vías respiratorias, estómago, intestinos, vesícula biliar, vejiga y útero
Función	Movimiento (constricción de los vasos sanguíneos y vías aéreas, propulsión de alimentos en el tubo digestivo, contracción de la vejiga y de la vesícula biliar)



Arteria

Mark Nielsen
Corte longitudinal del tejido muscular lisoMark Nielsen
Fibra muscular lisa

4.8 Tejido nervioso

OBJETIVO

- **Describir** las características estructurales y las funciones del sistema nervioso.

A pesar de la asombrosa complejidad del sistema nervioso, el **tejido nervioso** está formado tan solo por dos tipos principales de células: neuronas y neuroglía. Las **neuronas**, o células nerviosas, son sensibles a diversos estímulos. Convierten los estímulos en señales eléctricas llamadas **potencial de acción nervioso** (*impulso nervioso*) y conducen este potencial de acción hacia otras neuronas, al tejido muscular o a las glándulas. La mayoría de las neuronas están formadas por tres partes básicas: un cuerpo celular y dos tipos de prolongaciones celulares –dendritas y axones– (Cuadro 4.10). El **cuerpo celular** contiene el n úcleo y los orgánu-

los. Las **dendritas** (*dendr* = árbol) son prolongaciones (extensiones) celulares cortas muy ramificadas que se van adelgazando. Son la principal porción receptora de señales de una neurona. El **axón** (*axo* = eje) de una neurona es una prolongación única cilíndrica, delgada, que puede tener gran longitud. Es la porción de salida de la señal en una neurona, conduce el impulso nervioso hacia otra neurona o hacia otro tejido.

Si bien la **neuroglía** (*glía* = pegamento) no genera ni conduce impulsos nerviosos, estas células tienen importantes funciones de sostén. En el **Capítulo 12** se explicarán en detalle la estructura y la función de las neuronas y la neuroglía.

Preguntas de revisión

20. ¿Cuáles son las funciones de las dendritas, el cuerpo celular y el axón de una neurona?

CUADRO 4.10 Tejido nervioso

Descripción	El tejido nervioso está formado por (1) neuronas (células nerviosas), que tienen un cuerpo celular y prolongaciones que se extienden desde el cuerpo celular (una o múltiples dendritas y un único axón); y (2) neuroglía, que no genera ni conduce impulsos nerviosos pero tiene otras funciones de sostén importantes
Ubicación	Sistema nervioso
Función	Presenta sensibilidad a diversos tipos de estímulos; convierte los estímulos en impulsos nerviosos (potenciales de acción); conduce los impulsos nerviosos hacia otras neuronas, fibras musculares, o glándulas

Mark Nielsen MO 400x

Neurona de la médula espinal

4.9 Células excitables**OBJETIVO**

- **Explicar** el concepto de excitabilidad eléctrica.

Las neuronas y las fibras musculares se consideran **células excitables** pues presentan **excitabilidad eléctrica**, la capacidad para responder a ciertos estímulos y producir señales eléctricas como *potenciales de acción*. Los potenciales de acción pueden propagarse (viajar) a través de la membrana plasmática de una neurona o fibra muscular gracias a la presencia de canales iónicos con compuerta de voltaje específicos. Cuando se forma un potencial de acción en una neurona, esta libera sustancias químicas llamadas *neurotransmisores*, que permiten que se comunique con otras neuronas, fibras musculares o glándulas. Cuando se produce un potencial de acción en una fibra muscular, esta se contrae y genera actividades como el movimiento de articulaciones, la propulsión de alimento a través del intestino delgado y el movimiento de la sangre fuera del corazón hacia los vasos sanguíneos. El potencial de acción muscular y el potencial de acción nervioso se explicarán en detalle en los **Capítulos 10 y 12**, respectivamente.

Preguntas de revisión

21. ¿Por qué la excitabilidad eléctrica es importante para las neuronas y las fibras musculares?

4.10 Reparación tisular: restablecimiento de la homeostasis**OBJETIVO**

- **Describir** el papel de la reparación tisular en el restablecimiento de la homeostasis.

La reparación tisular es el reemplazo de células muertas, dañadas, o desgastadas. Las células nuevas se originan por división celular a partir del **estroma** (*stroma* = lecho o cubierta), el tejido conectivo de sostén, o del **parénquima**, las células que forman la parte funcional del tejido en un órgano. En el adulto, cada uno de los cuatro tipos básicos de tejido (epitelial, conectivo, muscular y nervioso) tiene distinta capacidad para reemplazar las células parenquimatosas perdidas por daño, enfermedad u otros procesos.

Las células epiteliales, que resisten el desgaste (e incluso el daño) en algunas ubicaciones, tienen capacidad de renovación continua. En algunos casos, las células indiferenciadas, inmaduras, llamadas **células madre**, se dividen y reemplazan células dañadas o perdidas. Por ejemplo, en zonas protegidas del epitelio de la piel y el tubo digestivo hay células madre que reemplazan a las que se descaman de la capa apical, y en la médula ósea las células madre constituyen una fuente continua de nuevos glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas. En otros casos, las células diferencian-

das maduras pueden dividirse; algunos ejemplos son los hepatocitos (células del hígado) y las células endoteliales de los vasos sanguíneos.

Algunos tejidos conectivos tienen una capacidad de renovación continua. Un ejemplo es el hueso, que recibe amplia irrigación sanguínea. El tejido conectivo del cartílago tiene menor capacidad para reemplazar sus células, en parte debido a la escasa irrigación sanguínea que recibe.

El tejido muscular cuenta con una baja capacidad de regeneración de las células perdidas. Si bien el músculo esquelético contiene células madre llamadas células satelitales, estas no se dividen con la suficiente rapidez para reemplazar en forma extensa las fibras musculares dañadas. El tejido del músculo cardíaco carece de células satelitales, y las fibras del músculo cardíaco no realizan mitosis para formar nuevas células. La evidencia reciente sugiere que las células madre migran hacia el corazón a través de la sangre. Allí pueden diferenciarse y reemplazar a un número limitado de fibras musculares cardíacas y células endoteliales en los vasos sanguíneos del corazón. Las fibras del músculo liso pueden proliferar en cierta medida, pero mucho más lentamente que las células del tejido epitelial o conectivo.

El tejido nervioso tiene la menor capacidad de renovación. Si bien los experimentos revelan la presencia de algunas células madre en el encéfalo, normalmente estas no realizan mitosis para reemplazar neuronas dañadas. Los investigadores están tratando de descubrir el motivo de esto, en busca del modo de reparar tejidos nerviosos dañados por lesiones o enfermedad.

La restauración de la estructura y la función normal de un tejido u órgano dañado depende por completo de la actividad de las células parenquimatosas. Si estas células pueden participar en la reparación, es posible la **regeneración tisular**, y se logra una reconstrucción casi perfecta del tejido dañado. Sin embargo, si los fibroblastos del estroma participan en la reparación, el tejido reemplazado formará un nuevo tejido conectivo. Los fibroblastos sintetizan colágeno y otras sustancias de la matriz extracelular que se agregan y forman tejido cicatrizal, en un proceso conocido como **fibrosis**. Debido a que el tejido cicatrizal no se especializa para cumplir las funciones del parénquima, esto afecta la función original del tejido o del órgano.

Si el daño al tejido es extenso, como en heridas grandes, abiertas, las células del estroma del tejido conectivo y las células del parénquima participan en la reparación; los fibroblastos se dividen con rapidez, y se forman nuevas fibras de colágeno para generar fuerza estructural. Los capilares sanguíneos emiten neovasos para abastecer al tejido en curación con las sustancias necesarias. Todo este proceso crea un tejido conectivo de crecimiento activo llamado **tejido de granulación**. Este nuevo tejido se forma sobre una herida o una incisión quirúrgica y brinda un marco (estroma) de sostén a las células epiteliales que migran hacia el área abierta. El tejido de granulación nuevo secreta también un líquido que destruye las bacterias.

En algunos casos, un número pequeño aunque significativo de pacientes desarrolla una complicación quirúrgica llamada **dehiscencia de la herida**, que es la separación parcial o completa de las capas externas de una incisión suturada. Una causa frecuente es la colocación por error de suturas o grapas demasiado separadas, muy cercanas a los bordes de la incisión o bajo demasiada presión. También puede ocurrir si se retiran las suturas demasiado pronto o si hay una infección profunda en la herida. Otros factores contribuyentes pueden ser la edad, la quimioterapia, la tos, el estreñimiento, el vómito, la obesidad, el tabaquismo y el uso de anticoagulantes como aspirina. Una complicación importante de la dehiscencia de la herida es la protrusión de un órgano a través de una herida abierta, en especial los intestinos. Esto puede producir peritonitis (inflamación del peritoneo) y shock séptico (shock causado por toxinas bacterianas debido a vasodilatación).

Tres factores afectan la reparación tisular: la nutrición, la circulación sanguínea, y la edad. La nutrición es vital pues el proceso de curación

implica una gran demanda sobre las reservas de nutrientes del cuerpo. Es importante una adecuada cantidad de proteínas en la dieta, pues la mayoría de los componentes estructurales de un tejido son proteínas. Diversas vitaminas también cumplen una función primordial en la curación de heridas y la reparación de tejidos. Por ejemplo, la vitamina C afecta directamente la producción y el mantenimiento normales de las sustancias de la matriz, en especial el colágeno, y fortifica y promueve la formación de nuevos vasos sanguíneos. En una persona con deficiencia de vitamina C, incluso heridas superficiales tardan en curarse, y las paredes de los vasos sanguíneos se vuelven frágiles y se rompen con facilidad.

Es esencial la circulación sanguínea adecuada para transportar el oxígeno, los nutrientes, los anticuerpos y muchas células de defensa hacia el sitio lesionado. La sangre tiene también un papel importante en la eliminación de líquido, bacterias, cuerpos extraños y restos celulares del tejido, ya que estos elementos podrían interferir con la curación. El tercer factor importante para la reparación de tejidos es la edad, a la que se hará referencia en la siguiente sección.

Correlación clínica

Adherencias

El tejido cicatrizal puede formar **adherencias**, que son uniones anormales de tejidos. Las adherencias son comunes en el abdomen alrededor de un sitio de inflamación previa como un apéndice inflamado, y pueden desarrollarse luego de una cirugía. Aunque no siempre causan problemas, las adherencias pueden disminuir la flexibilidad del tejido, causar obstrucción (intestinal) y dificultar una operación futura, como una cesárea. En casos raros, las adherencias pueden producir infertilidad. Puede ser necesaria una *adhesiotomía*, que es la liberación quirúrgica de una adherencia.

Preguntas de revisión

22. ¿En qué se diferencian la reparación del estroma y del parénquima de un tejido?
23. ¿Cuál es la importancia del tejido de granulación?

4.11 Envejecimiento y tejidos

OBJETIVO

- Describir los efectos del envejecimiento sobre los tejidos.

En los capítulos siguientes se considerarán los efectos del envejecimiento sobre sistemas corporales específicos. Con el envejecimiento los tejidos epiteliales se vuelven progresivamente más delgados y los tejidos conectivos, más frágiles. Esto se evidencia por una mayor incidencia de alteraciones de la piel y las membranas mucosas, arrugas, mayor susceptibilidad a sufrir hematomas, mayor pérdida de densidad ósea, mayor tasa de fracturas óseas, y episodios de dolor y afecciones articulares. El envejecimiento también afecta el tejido muscular, con pérdida de masa y

fuerza del músculo esquelético y disminución de la eficiencia de la fuerza de bombeo del corazón y de la actividad de los órganos que contienen músculo liso, como los del tubo digestivo.

En general, los tejidos curan más rápido y con menos cicatrices en personas jóvenes que en adultos mayores. La cirugía fetal no deja cicatriz. El cuerpo joven está en mejor estado nutricional, sus tejidos tienen mejor irrigación sanguínea y sus células, una mayor tasa metabólica. Las células pueden sintetizar las sustancias necesarias y se dividen más rápidamente. Los componentes extracelulares de los tejidos también cambian con el envejecimiento. La glucosa, el azúcar más abundante en el cuerpo, tiene un papel en el proceso de envejecimiento. A medida que el cuerpo envejece, la glucosa se une en forma aleatoria a proteínas dentro y fuera de las células, y forma uniones irreversibles entre moléculas de proteínas adyacentes. Con la edad, se forma un mayor número de uniones, que hacen que los tejidos envejecidos pierdan elasticidad y se vuelvan rígidos. A su vez, las fibras de colágeno, responsables de la fuerza de los tendones,

aumentan en número y cambian su calidad. Las alteraciones en el colágeno de las paredes arteriales afectan la flexibilidad de las arterias del mismo modo que los depósitos grasos asociados con aterosclerosis (véase **Enfermedad de las arterias coronarias** en **Trastornos: desequilibrios homeostáticos, Capítulo 20**). La elastina, otro componente extracelular, es responsable de la elasticidad de los vasos sanguíneos y la piel. Con la edad, esta se engrosa, se fragmenta y adquiere mayor afinidad por el calcio –cambios que también pueden asociarse con el desarrollo de aterosclerosis–.

Pregunta de revisión

- 24.** ¿Qué cambios son comunes en los tejidos epitelial y conectivo con el envejecimiento?

Trastornos: desequilibrios homeostáticos

Las afecciones del tejido epitelial son específicas de órganos individuales, como en el caso de la úlcera péptica, que erosiona la cubierta epitelial del estómago o del intestino delgado. Por ello, en este texto se describirán las afecciones epiteliales dentro del sistema corporal al que pertenece el epitelio. Las enfermedades más prevalentes del tejido conectivo son las **enfermedades autoinmunitarias** –en las que los anticuerpos producidos por el sistema inmunitario no distinguen lo que es propio de lo que es ajeno al cuerpo y atacan los tejidos–. Una de las enfermedades autoinmunitarias más frecuentes es la artritis reumatoide, que ataca las membranas sinoviales de las articulaciones. Las afecciones del tejido conectivo suelen comprometer múltiples sistemas, debido a que el tejido conectivo es uno de los más abundantes y de mayor distribución en el organismo. Las afecciones comunes de los tejidos muscular y nervioso se describirán al final de los **Capítulos 10 y 12**, respectivamente.

Lupus eritematoso sistémico

El **lupus eritematoso sistémico (LES)** o *lupus* es una enfermedad inflamatoria crónica del tejido conectivo que se presenta sobre todo en muje-

res de etnia no blanca en edad fértil. Es un trastorno autoinmunitario que puede dañar todos los sistemas del cuerpo. Esta enfermedad, que puede variar desde una afección leve en la mayoría de los pacientes hasta una enfermedad rápidamente letal, se caracteriza por períodos de exacerbación y remisión. La prevalencia de LES es de 1 cada 2000, y afecta más a mujeres que a hombres, con una relación de 8 o 9 a 1.

Si bien se desconoce la causa del LES, pueden estar implicados factores genéticos, ambientales y hormonales. Estudios en mellizos y antecedentes familiares sugieren un componente genético. Los factores ambientales incluyen virus, bacterias, químicos, drogas, exposición excesiva a la luz solar, estrés emocional. También pueden tener un papel las hormonas sexuales, como los estrógenos.

Los signos y los síntomas de LES incluyen artralgias, febrícula, fatiga, úlceras bucales, pérdida de peso, adenomegalia y esplenomegalia, fotosensibilidad, alopecia de aparición súbita y anorexia. Una característica distintiva del lupus es una erupción sobre el puente nasal y las mejillas, llamada “erupción en mariposa”. Pueden presentarse otras lesiones cutáneas, como ampollas y úlceras. La naturaleza erosiva de algunas lesiones cutáneas del LES se consideró similar al daño producido por una mordedura de lobo –de ahí el nombre de *lupus* (= lobo)–. La complicación más grave de esta enfermedad es la inflamación de riñones, hígado, bazo, pulmones, corazón, cerebro y tubo digestivo. No existe curación para el LES; el tratamiento es sintomático e incluye antiinflamatorios como aspirina e inmunosupresores.

Terminología médica

Atrofia (*a-* = sin; *-trofia* = nutrición) Disminución del tamaño celular con reducción subsiguiente del tamaño del órgano o tejido afectado.

Hipertrofia (*iper-* = por encima) Aumento del tamaño de un tejido debido al incremento de sus células, sin división celular.

Rechazo de tejido Respuesta inmunitaria del cuerpo dirigida hacia proteínas extrañas en un tejido u órgano transplantado; los inmunosupresores, como ciclosporina, ayudan a superar el rechazo de tejidos en pacientes con trasplante de corazón, riñón e hígado.

Trasplante de tejido Reemplazo de un tejido u órgano enfermo o dañado. Los trasplantes más exitosos son aquellos que utilizan los tejidos del propio paciente o los de un gemelo idéntico.

Xenotransplante (*xeno-* = extraño) Reemplazo de un tejido u órgano enfermo o lesionado por células o tejidos animales. En cirugías de reemplazo de válvulas cardíacas, se utilizan válvulas porcinas (de cerdo) y bovinas (de vaca).

Revisión del capítulo

Revisión

4.1 Tipos de tejidos

1. Un tejido es un grupo de células, por lo general con origen embrionario similar, especializadas en una función en particular.
2. Los tejidos del cuerpo se clasifican en cuatro tipos básicos: epitelial, conectivo, muscular y nervioso.

4.2 Uniones celulares

1. Las uniones celulares son puntos de contacto entre membranas plasmáticas adyacentes.
2. Las uniones estrechas forman sellos impermeables al agua entre las células; las uniones adherentes, los desmosomas y los hemidesmosomas unen las células entre sí o a la membrana basal; y las uniones comunicantes permiten el pasaje de señales eléctricas y químicas entre las células.

4.3 Comparación entre los tejidos epitelial y conectivo

1. El tejido epitelial tiene gran número de células estrechamente unidas y es avascular.
2. El tejido conectivo tiene menor cantidad de células y mayor cantidad de matriz extracelular.

4.4 Tejido epitelial

1. Los subtipos de tejido epitelial incluyen el epitelio de cubierta y de revestimiento (epitelio de superficie) y el epitelio glandular.
2. El tejido epitelial está formado principalmente por células con poca sustancia extracelular entre las membranas plasmáticas adyacentes. Las superficies apical, lateral y basal de las células epiteliales se modifican de diversas maneras para llevar a cabo funciones específicas. Si bien el tejido epitelial es avascular, tiene inervación. Debido a la alta tasa de división celular, el tejido epitelial tiene gran capacidad de renovación.
3. El epitelio de cubierta y de revestimiento puede ser simple, seudoestratificado o estratificado. Las células pueden ser pavimentosas (planas), cúbicas, cilíndricas (rectangulares) o de transición (variables). Los subtipos de tejido epitelial incluyen el epitelio de cubierta y revestimiento y el epitelio glandular.
4. El epitelio pavimentoso simple, formado por una única capa de células planas (**Cuadro 4.1A**), se encuentra en zonas del cuerpo donde la filtración o la difusión es el proceso prioritario. El endotelio reviste el corazón y los vasos sanguíneos. El mesotelio forma las membranas serosas que revisten las cavidades torácica y abdominal/pélvica y cubre los órganos internos.
5. El epitelio cúbico simple, formado por una capa única de células cúbicas que tienen funciones de secreción y absorción (**Cuadro 4.1B**), se encuentra en los ovarios, los riñones y los ojos, y reviste algunos conductos glandulares.
6. El epitelio cilíndrico simple no ciliado, formado por una capa única de células rectangulares no ciliadas (**Cuadro 4.1C**), reviste la mayor parte del tubo digestivo y contiene células especializadas que realizan absorción y secretan moco. El epitelio cilíndrico simple ciliado, formado por una capa única de células ciliadas en forma de cilindro (**Cuadro 4.1D**), se encuentra en algunas porciones de las vías aéreas superiores, en donde extrae partículas extrañas atrapadas en el moco. Una variedad no ciliada no posee células caliciformes y reviste los conductos de muchas glándulas, del epidídimo, y parte de la uretra masculina (**Cuadro 4.1E**) y una variedad ciliada del epitelio cilíndrico seudoestratificado (**Cuadro 4.1F**) contiene células caliciformes y reviste la mayor parte de las vías aéreas superiores. La variedad ciliada elimina el moco en las vías aéreas. La variedad no ciliada cumple funciones de absorción y protección.
7. El epitelio estratificado está formado por varias capas de células: las de la capa apical del epitelio pavimentoso estratificado y varias más profundas son células planas (**Cuadro 4.1G**); una variedad no queratinizada reviste la boca, y una variedad queratinizada forma la epidermis. Las células de la capa apical de epitelio cúbico estratificado tienen forma de cubo (**Cuadro 4.1H**); el epitelio cúbico estrati-

ficado se encuentra en las glándulas sudoríparas del adulto y en una porción de la uretra masculina. Ofrece protección y lleva a cabo una secreción y una absorción limitadas. Las células de la capa apical de epitelio cilíndrico estratificado tienen forma de cilindro (**Cuadro 4.1I**); este tipo de células se encuentran en una porción de la uretra masculina y en los grandes conductos excretores de algunas glándulas, y su función es protección y secreción.

8. El epitelio transicional (urotelio) está formado por varias capas de células cuya apariencia varía con el grado de estiramiento (**Cuadro 4.1J**). Reviste la vejiga.

9. Una glándula es una célula o un grupo de células epiteliales adaptadas para la secreción. Existen dos tipos de epitelio glandular: endocrino y exocrino. Las glándulas endocrinas secretan hormonas hacia el líquido intersticial y luego hacia la sangre (**Cuadro 4.2A**). Las glándulas exocrinas secretan hacia un conducto o hacia una superficie libre (**Cuadro 4.2B**).

10. Las glándulas exocrinas se clasifican, desde el punto de vista estructural, en glándulas unicelulares y pluricelulares. La clasificación estructural de las glándulas exocrinas incluye a las glándulas merocrinas, apocrinas y holocrinias.

4.5 Tejido conectivo

1. El tejido conectivo, uno de los más abundantes en el cuerpo, está formado por un número relativamente pequeño de células y abundante matriz extracelular de sustancia fundamental y fibras proteicas. Suele tener inervación, y es altamente vascularizado.
2. Las células del tejido conectivo propiamente dicho derivan en primer lugar de las células mesenquimatosas. Los tipos de células incluyen fibroblastos (secretan matriz extracelular), macrófagos (realizan fagocitosis), células plasmáticas (secretan anticuerpos), mastocitos (producen histamina), adipocitos (almacenan grasa) y glóbulos blancos (responden a infecciones).
3. La sustancia fundamental y las fibras forman la matriz extracelular. La sustancia fundamental sostiene y une las células, proporciona un medio para el intercambio de sustancias, almacena agua e influye activamente en las funciones celulares. La sustancia fundamental posee agua y polisacáridos, proteoglucanos y proteínas de adhesión.
4. Las fibras de la matriz extracelular brindan fuerza y sostén, y son de tres tipos: a) fibras de colágeno, que se encuentran en grandes cantidades en el hueso, los tendones y los ligamentos, b) fibras elásticas, que se encuentran en la piel, las paredes de los vasos sanguíneos y los pulmones y c) fibras reticulares, que se encuentran alrededor de las células adiposas, las fibras nerviosas y las células del músculo esquelético y el músculo liso.
5. Los dos subtipos principales de tejido conectivo son el embrionario (en el embrión y el feto) y el tejido maduro (en el recién nacido). El tejido conectivo embrionario (véase **Cuadro 4.3**) incluye al mesénquima, que forma casi todos los demás tejidos conectivos, y el tejido conectivo mucoso, que se encuentra en el cordón umbilical del feto, y proporciona sostén. El tejido conectivo maduro se diferencia del mesénquima y se subdivide en varios tipos: tejido conectivo propiamente dicho (laxo y denso), tejido conectivo de sostén (cartílago y hueso) y tejido conectivo líquido (sangre y linfa).
6. El tejido conectivo laxo incluye el tejido conectivo areolar, el tejido adiposo y el conectivo reticular. El tejido conectivo areolar está formado por los tres tipos de fibras (de colágeno, elásticas y reticulares), varios tipos de células y una sustancia fundamental semiliquida (**Cuadro 4.4A**); se encuentra en la capa subcutánea, en las membranas mucosas, y alrededor de los vasos sanguíneos, los nervios y los órganos del cuerpo. El tejido adiposo está formado por adipocitos, que almacenan triglicéridos (**Cuadro 4.4B**); se encuentra en la capa subcutánea, alrededor de los órganos, y en la médula ósea amarilla. El tejido adiposo marrón genera calor. El tejido conectivo reticular está formado por fibras reticulares y células reticulares, y se encuentra en el hígado, el bazo, y los ganglios linfáticos (**Cuadro 4.4C**).
7. El tejido conectivo denso se clasifica en denso regular, denso irregular y elástico. El tejido conectivo denso regular está formado por haces paralelos de fibras de colágeno y fibroblastos (**Cuadro 4.5A**); forma los tendones, la mayoría de los ligamentos y las aponeurosis. El tejido conectivo denso irregular está formado por fibras de colágeno y algunos fibroblastos (**Cuadro 4.5B**); se encuentra en las fascias, la dermis cutánea, y las cápsulas de membrana alrededor de los órganos. El tejido conectivo elástico está formado por fibras elásticas ramificadas y fibroblastos

(Cuadro 4.5C), y se encuentra en las paredes de las grandes arterias, los pulmones, la tráquea y los tubos bronquiales.

8. El cartílago es un tejido conectivo de sostén que contiene condrocitos y una matriz extracelular gomosa (condroitinsulfato) que incluye colágeno y fibras elásticas. El cartílago hialino está formado por una sustancia fundamental gelatinosa, y tiene apariencia blanco azulada en el cuerpo. Se encuentra en el esqueleto embrionario, los extremos de los huesos, la nariz y en estructuras respiratorias (Cuadro 4.6A); es flexible, permite el movimiento, proporciona sostén y suele estar rodeado por un pericondrio. El fibrocartílago se encuentra en la sínfisis del pubis, en los discos intervertebrales y los meniscos (almohadillas cartilaginosas) de la articulación de la rodilla (Cuadro 4.6B); contiene condrocitos dispersos entre haces de fibras de colágeno claramente visibles. El cartílago elástico mantiene la forma de órganos como la epiglotis en la laringe, la trompa auditiva (de Eustaquio) y el oído externo (Cuadro 4.6C); sus condrocitos se ubican dentro de una red filiforme de fibras elásticas, y contiene un pericondrio.

9. El tejido óseo es un tejido conectivo de sostén, formado por una matriz extracelular de sales minerales y fibras de colágeno que contribuyen a la dureza del hueso, y osteocitos ubicados en lagunas (Cuadro 4.7). Sostiene y protege al cuerpo, ofrece una superficie para la inserción del músculo, ayuda al movimiento del cuerpo, almacena minerales y alberga el tejido que origina las células sanguíneas.

10. Existen dos tipos de tejido conectivo líquido: la sangre y la linfa. La sangre está formada por plasma y elementos formes –glóbulos rojos, glóbulos blancos y plaquetas– (Cuadro 4.8); sus células transportan oxígeno y dióxido de carbono, realizan fagocitosis, participan en reacciones alérgicas, brindan inmunidad y son responsables de la coagulación sanguínea. La linfa, el líquido extracelular que fluye en los vasos linfáticos, es un líquido claro similar al plasma sanguíneo, pero con menor cantidad de proteínas.

4.6 Membranas

1. Una membrana epitelial está formada por una capa epitelial sobre una capa de tejido conectivo. Los tipos de membranas son mucosa, serosa y cutánea.
2. Las membranas mucosas revisten cavidades que se abren al exterior, como el tubo digestivo.
3. Las membranas serosas revisten cavidades cerradas (pleura, pericardio, peritoneo) y cubren los órganos ubicados en las cavidades. Están formadas por una capa parietal y otra visceral.
4. La membrana cutánea es la piel. Recubre todo el cuerpo y está formada por una epidermis superficial (epitelio) y una dermis profunda (tejido conectivo).
5. Las membranas sinoviales revisten las cavidades de las articulaciones y están formadas por tejido conectivo areolar; no poseen una capa epitelial.

4.7 Tejido muscular

1. El tejido muscular está formado por células llamadas fibras musculares o miocitos, que se especializan en la contracción. Permite el movimiento, mantiene la postura, produce calor y proporciona protección.

2. El tejido muscular esquelético se adhiere a los huesos, y es estriado y voluntario (Cuadro 4.9A).

3. El tejido muscular cardíaco, que forma la mayor parte del corazón, es estriado y de acción involuntaria (Cuadro 4.9B).

4. El tejido muscular liso se encuentra en las paredes de estructuras internas huecas (vasos sanguíneos y vísceras) y es no estriado e involuntario (Cuadro 4.9C).

4.8 Tejido nervioso

1. El tejido nervioso está compuestos por neuronas (células nerviosas) y neuroglía (células de protección y sostén) (Cuadro 4.10).
2. Las neuronas responden a estímulos y los convierten en señales eléctricas llamadas potenciales de acción nervioso (impulso nervioso), y conducen los impulsos nerviosos hacia otras células.
3. La mayoría de las neuronas están formadas por un cuerpo celular y dos tipos de prolongaciones: dendritas y axones.

4.9 Células excitables

1. La excitabilidad eléctrica es la capacidad de responder a ciertos estímulos y producir señales eléctricas como potenciales de acción.
2. Las neuronas y las fibras musculares tienen excitabilidad eléctrica, y por ello se consideran células excitables.

4.10 Reparación tisular: restablecimiento de la homeostasis

1. La reparación tisular es el reemplazo de células desgastadas, dañadas o muertas por células sanas.
2. Las células madre pueden dividirse para reemplazar células dañadas o perdidas.
3. Si la lesión es superficial, la reparación del tejido implica la regeneración del parénquima; si el daño es extenso, participa el tejido de granulación.
4. Una buena nutrición y circulación sanguínea son vitales para la reparación de los tejidos.

4.11 Envejecimiento y tejidos

1. En personas jóvenes, los tejidos curan con mayor rapidez y dejan menos cicatrices que en los adultos mayores; la cirugía fetal no deja cicatrices.
2. Los componentes extracelulares de los tejidos, como el colágeno y las fibras elásticas, también cambian con la edad.

Preguntas de razonamiento

1. Imagíñese que vive en el futuro, dentro de 50 años, y puede diseñar un ser humano que se adapte al ambiente. Debe diseñar los tejidos humanos para que puedan sobrevivir en un planeta grande con gravedad, clima frío y seco, y una atmósfera delgada. ¿Qué adaptaciones incorporaría a la estructura o cantidad de tejidos, y por qué?

2. Usted está por participar en un “Concurso del bebé más tierno” y pidió a sus colegas que le ayuden a elegir su foto de bebé más adorable. Uno de sus colegas le dice que usted era bastante gordito de bebé. Sin embargo, usted no se ofenda. Expliquele a su colega el beneficio de esta “grasa de bebé.”
3. Usted hizo una dieta de “pan y agua” durante tres semanas y nota que un corte en su piel no se cura y sangra con facilidad. ¿A qué se debe esto?