

- B. **Tubular simple ramificada.** La porción secretora tubular es ramificada y se conecta con un conducto simple no ramificado. Ejemplo: glándulas gástricas.
- C. **Tubular simple enrollada.** La porción secretora tubular se encuentra enrollada y unida a un conducto simple no ramificado. Ejemplo: glándulas sudoríparas.
- D. **Acinar simple.** La porción secretora es sacular y se conecta con un conducto simple no ramificado. Ejemplo: glándulas de la uretra peniana.
- E. **Acinar simple ramificada.** La porción secretora sacular está ramificada y se conecta con un conducto simple no ramificado. Ejemplo: glándulas sebáceas.
- II. Glándulas compuestas
- A. **Tubular compuesta.** La porción secretora es tubular y se conecta con un conducto ramificado. Ejemplo: glándulas bulbouretrales (de Cowper).
- B. **Acinar compuesta.** La porción secretora es sacular y se conecta con un conducto ramificado. Ejemplo: glándulas mamarias.
- C. **Tubuloacinar compuesta.** La porción secretora es tanto tubular como sacular y se conecta con un conducto ramificado. Ejemplo: glándulas acinares del páncreas.

Clasificación funcional de las glándulas exocrinas

La clasificación funcional de las glándulas exocrinas se basa en la forma en que se liberan sus secreciones. Todos estos procesos secretorios comienzan en el retículo endoplásmico y el aparato de Golgi, que operan en conjunto para formar vesículas secretoras intracelulares con el producto de secreción en su interior. Las secreciones de las **glándulas merocrinas** (*mero* = parte) se sintetizan en los ribosomas adheridos al retículo endoplásmico, para luego procesarse, clasificarse y envolverse en el aparato de Golgi y liberarse de la célula por exocitosis en vesículas secretoras (Figura 4.7a). Casi todas las glándulas exocrinas del cuerpo son merocrinas. A modo de ejemplo se pueden mencionar las glándulas salivales y el páncreas. Las **glándulas apocrinas** (*apé* = de, desde) acumulan sus productos en la superficie apical de las células secretoras. Más tarde, esa porción de la célula se desprende del resto por exocitosis para liberar las secreciones (Figura 4.7b). La porción remanente de la célula se repara a sí misma y el proceso se repite. En etapa reciente se pudo confirmar con microscopía electrónica que éste es el mecanismo de secreción de los lípidos lácteos en las glándulas mamarias. Evidencias actuales indican que las glándulas sudoríparas de la piel denominadas glándulas sudoríparas apocrinas debido a su modo de secreción, en realidad desarrollan un tipo de secreción merocrina. Las células de las **glándulas holocrinas** (*hólos* = todo) acumulan el producto de secreción en el citosol. A medida que las células secretoras maduran, se rompen y se convierten en el producto de secreción (Figura 4.7c). Como en este modo de secreción la célula se rompe, el material secretado contiene grandes cantidades de lípidos de la membrana plasmática y de las membranas intracelulares. Las células descamadas se sustituyen por células nuevas. Un ejemplo de glándula holocrina es la glándula sebácea de la piel.

✓ PREGUNTAS DE REVISIÓN

6. Describir las diferentes disposiciones en capas y las formas de las células epiteliales.
7. ¿Cuáles son las características compartidas por todos los tejidos epiteliales?
8. ¿Cómo es la estructura de los siguientes tipos de tejidos epiteliales en relación con su función: pavimentoso simple, cúbico

simple, cilíndrico simple (ciliado y no ciliado), cilíndrico pseudoestratificado (ciliado y no ciliado), pavimentoso estratificado (queratinizado y no queratinizado), cúbico estratificado, cilíndrico estratificado y de transición?

9. ¿Dónde se localizan el endotelio y el mesotelio?
10. ¿Cuál es la diferencia entre las glándulas endocrinas y las exocrinas? Nombre y dé ejemplos de tres clases funcionales de glándulas exocrinas sobre la base de las secreciones que liberan.

4.5 TEJIDOS CONECTIVOS

■ OBJETIVOS

- Describir las características generales de los tejidos conectivos.
- Describir la estructura, la localización y la función de diversos tipos de tejidos conectivos.

El **tejido conectivo** es uno de los más abundantes y de más amplia distribución en el cuerpo humano. Las diversas clases de tejido conectivo presentan distintas funciones: se unen entre sí, sostienen y fortalecen a otros tejidos corporales, protegen y aíslan a los órganos internos, constituyen compartimentos para estructuras como los músculos esqueléticos, funcionan como principal medio de transporte del organismo (la sangre es un tejido conectivo líquido), son el depósito principal de las reservas de energía (tejido adiposo o grasa) y constituyen el origen de las respuestas inmunitarias más importantes.

Características generales de los tejidos conectivos

El tejido conectivo consiste en dos elementos básicos: células y matriz extracelular. La **matriz extracelular** del tejido conectivo es el material que se encuentra entre sus células, muy distanciadas entre sí. La matriz extracelular está compuesta por *fibras proteicas* y *sustancia fundamental*, que es el material entre las células y las fibras. Las células del tejido conectivo secretan las fibras extracelulares, que determinan gran parte de las propiedades funcionales del tejido y controlan el ambiente acuoso circundante a través de proteoglicanos específicos (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. La matriz extracelular del hueso, en cambio, es dura e inflexible.

Se debe recordar que a diferencia de los tejidos epiteliales, el tejido conectivo no suele ubicarse sobre las superficies corporales. Asimismo y a diferencia de los tejidos epiteliales, los tejidos conectivos suelen recibir una irrigación abundante, lo que significa que reciben gran cantidad de sangre. Las excepciones a esta regla son los cartílagos, que son avasculares, y los tendones, que poseen escasa irrigación. Excepto el cartílago, los tejidos conectivos, al igual que los tejidos epiteliales, reciben innervación.

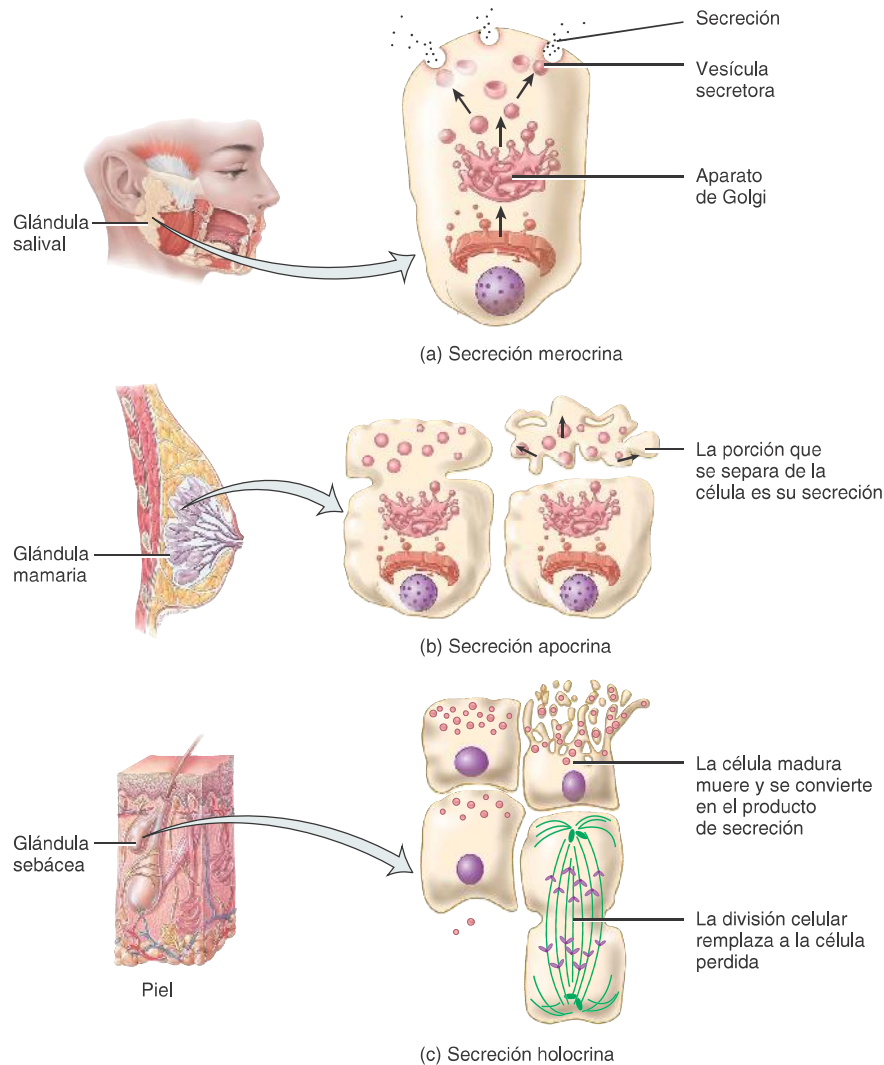
Células del tejido conectivo

Las células embrionarias denominadas células mesenquimáticas dan origen a las células de los tejidos conectivos. Cada tipo de tejido conectivo contiene una clase de células inmaduras con un nombre terminado en *-blasto*, que significa “retoño o germen”. Estas células inmaduras se denominan *fibroblastos* en los tejidos conectivos laxo y



Figura 4.7 Clasificación funcional de las glándulas exocrinas multicelulares.

La clasificación funcional de las glándulas exocrinas se basa en si su secreción es un producto de la célula o si es una célula glandular entera o parte de ella.



? ¿Qué clase de glándulas son las sebáceas? ¿Y las salivales?

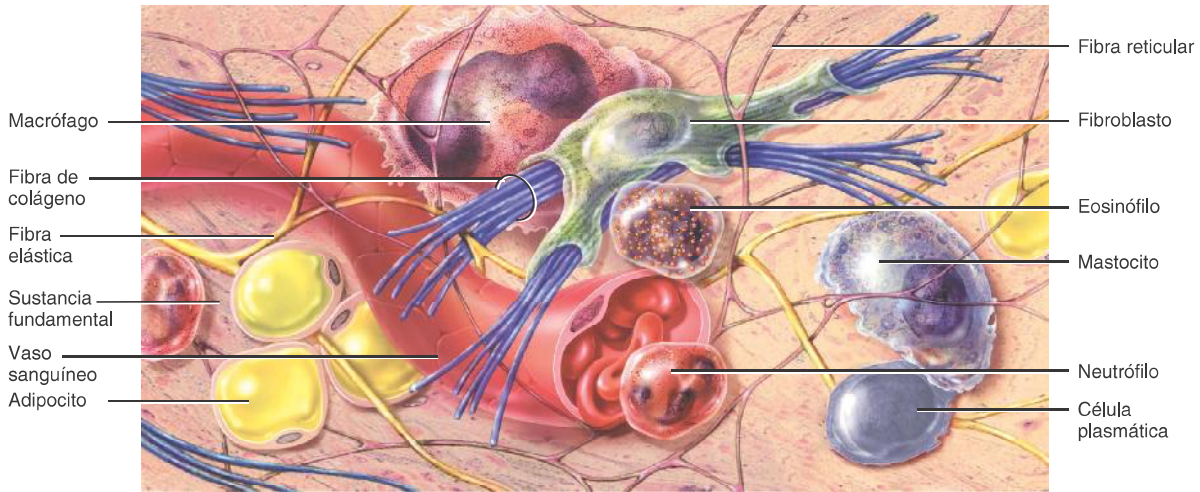
denso (que se describirán en breve), *condroblastos* en el cartílago y *osteoblastos* en el hueso. Los blastos conservan la capacidad de división celular y secretan la matriz extracelular característica de cada tejido. En el cartílago y el hueso, una vez que se forma la matriz extracelular, las células inmaduras se diferencian en células maduras y sus nombres terminan con *-cito*, como *condrocito* y *osteocito*. Las células maduras tienen una capacidad reducida para dividirse y para producir matriz e intervienen sobre todo en el mantenimiento de la matriz extracelular.

Los tipos de células del tejido conectivo varían de acuerdo con el tejido y son los siguientes (Figura 4.8):

1. Los **fibroblastos** son células grandes y aplanadas con prolongaciones ramificadas. Se encuentran en todos los tejidos conectivos generales y suelen ser los más numerosos. Los fibroblastos migran a través de los tejidos conectivos secretando fibras y algunos componentes de la sustancia fundamental de la matriz extracelular.
2. Los **macrófagos** (*makrós* = grande y *-phagén* = comer) se desarrollan a partir de los *monocitos*, que es un tipo de leucocito. Tienen forma irregular con proyecciones ramificadas cortas y son capaces de incorporar bacterias y detritos celulares por fagocitosis. Los *macrófagos fijos* residen en tejidos particulares, como los

Figura 4.8 Esquema de las células y las fibras presentes en los tejidos conectivos.

 Los fibroblastos suelen ser las células más abundantes en los tejidos conectivos.



? ¿Cuál es la función de los fibroblastos?

- macrófagos alveolares en los pulmones o los macrófagos esplénicos en el bazo. Los *macrófagos circulantes* tienen la capacidad de atravesar los tejidos y agruparse en los sitios de infección o inflamación para realizar fagocitosis.
- Las **células plasmáticas** son pequeñas células que se desarrollan a partir de un tipo de leucocito denominado *linfocito B*. Las células plasmáticas secretan anticuerpos, es decir proteínas que atacan o neutralizan sustancias extrañas en el organismo. Debido a esta razón, las células plasmáticas son una parte importante de la respuesta inmunitaria. A pesar de que se encuentran en diversas partes del cuerpo, la mayoría reside en los tejidos conectivos, en especial en el tubo digestivo y las vías respiratorias. También abundan en las glándulas salivales, los ganglios linfáticos, el bazo y la médula ósea.
 - Los **mastocitos** abundan a lo largo de los vasos sanguíneos que irrigan el tejido conectivo. Producen histamina, una sustancia química que dilata los vasos sanguíneos pequeños como parte de la reacción inflamatoria, que es la respuesta del organismo ante una lesión o una infección. En etapa reciente los investigadores también descubrieron que los mastocitos pueden unirse a las bacterias, fagocitarlas y destruirlas.
 - Los **adipocitos**, también llamados *células adiposas*, son las células del tejido conectivo que almacenan triglicéridos (grasas). Se encuentran debajo de la piel y alrededor de órganos como el corazón y los riñones.
 - Los **leucocitos** (glóbulos blancos) no se encuentran en cantidades significativas en el tejido conectivo normal. Sin embargo, en respuesta a ciertas condiciones migran desde la sangre hacia los tejidos conectivos. A modo de ejemplo se mencionan los *neutrófilos* que se reúnen en sitios infectados y los *eosinófilos* que migran hacia sitios con invasión parasitaria y reacciones alérgicas.

Matriz extracelular del tejido conectivo

Cada tipo de tejido conectivo tiene propiedades únicas basadas en los materiales extracelulares específicos entre las células. La matriz extracelular tiene dos componentes principales: 1) sustancia fundamental y 2) fibras.

Sustancia fundamental

Como se comentó, la **sustancia fundamental** es el componente intercelular del tejido conectivo ubicado entre las células y las fibras. Puede ser líquida, semilíquida, gelatinosa o calcificada. La sustancia fundamental confiere soporte a las células, las une, almacena agua y provee el medio a través del cual las sustancias son intercambiadas entre la sangre y las células. Esta matriz participa en forma activa en el desarrollo tisular, la migración, la proliferación y el cambio de forma, como también en la forma en que las células llevan a cabo sus funciones metabólicas.

La sustancia fundamental contiene agua y diversas moléculas orgánicas de gran tamaño, muchas de las cuales son combinaciones complejas de polisacáridos y proteínas. Entre los polisacáridos se pueden mencionar el ácido hialurónico, el condroitinsulfato, el dermatansulfato y el queratansulfato. En conjunto, se los denomina **glucosaminoglucanos** o **GAG**. Excepto el ácido hialurónico, los GAG se asocian con proteínas y forman los **proteoglucanos**, que constituyen un núcleo proteico en el cual los GAG se proyectan de las proteínas como las cerdas de un cepillo. Una de las propiedades más importantes de los GAG es que incorporan agua y tornan más gelatinosa a la sustancia fundamental.

El **ácido hialurónico** es una sustancia viscosa y resbaladiza que une las células entre sí, lubrica las articulaciones y contribuye a mantener la forma de los globos oculares. Los leucocitos, los espermatozoides y algunas bacterias producen *hialuronidasa*, una enzima que desdobra



al ácido hialurónico y hace que la sustancia fundamental del tejido conectivo adquiera mayor liquidez. La capacidad de producir hialuronidasa ayuda a los leucocitos a desplazarse con mayor facilidad a través del tejido conectivo para alcanzar los sitios infectados y a que el espermatozoide penetre al ovocito durante la fecundación. También es responsable de la rápida diseminación de las bacterias a través de los tejidos conectivos. El **condroitinsulfato** otorga soporte y adhesividad al cartílago, el hueso, la piel y los vasos sanguíneos. La piel, los tendones, los vasos sanguíneos y las válvulas cardíacas contienen **dermatansulfato**, mientras que el hueso, el cartílago y la córnea contienen **queratansulfato**. En la sustancia fundamental también se encuentran **proteínas de adhesión**, responsables de unir los componentes de la sustancia fundamental entre sí y con las superficies celulares. La principal proteína de adhesión del tejido conectivo es la **fibronectina**, que se une con las fibras de colágeno (se tratará en breve) y la sustancia fundamental, conectándolas. La fibronectina también se une con las células de la sustancia fundamental.



CORRELACIÓN CLÍNICA |

Condroitinsulfato,
glucosamina y
enfermedad articular

En los últimos años, el **condroitinsulfato** y la **glucosamina** (un proteoglicano) comenzaron a usarse como suplementos nutricionales sea en forma aislada o combinada para promover y mantener la estructura y la función del cartílago articular, reducir el dolor asociado con la artrosis y disminuir la inflamación articular. Aunque estos suplementos resultaron beneficiosos en algunos individuos con artrosis moderada o grave, el beneficio es mínimo en casos más leves. Se requiere mayor investigación para determinar su mecanismo de acción y la razón por la cual son beneficiosos para algunas personas y no para otras.

Fibras

Hay tres tipos de **fibras** en la matriz extracelular entre las células: fibras de colágeno, elásticas y reticulares (Figura 4.8). Su función es fortalecer y sostener los tejidos conectivos.

Las **fibras de colágeno** (*kóll* = preparado adhesivo) son muy fuertes y resisten las fuerzas de tracción, pero no son rígidas, lo cual le confiere flexibilidad al tejido. Las propiedades de los diferentes tipos de fibras de colágeno varían de un tejido a otro. Por ejemplo, las fibras de colágeno del cartílago y el hueso forman diferentes asociaciones con las moléculas circundantes. Como resultado de estas asociaciones, las fibras de colágeno en el cartílago están rodeadas por más moléculas de agua que las del hueso, lo que le da al cartílago un mayor efecto de acojinamiento. A menudo, las fibras de colágeno se disponen en haces paralelos (véase la Cuadro 4.5, tejido conectivo denso regular). La disposición en haces le confiere al tejido mayor resistencia a la tensión. La composición química de este tipo de fibras está determinada por la proteína más abundante de todo el organismo, el **colágeno**, que representa alrededor del 25% del total de proteínas. Las fibras de colágeno se encuentran en la mayoría de los tipos de tejido conectivo, en especial en el hueso, el cartílago, los tendones (que conectan el músculo con el hueso) y los ligamentos (que unen un hueso con otro).

Las **fibras elásticas**, que poseen un diámetro más pequeño que las fibras de colágeno, se unen y ramifican formando una red dentro del tejido conectivo. Una fibra elástica está compuesta por moléculas de la proteína *elastina* rodeadas por una glucoproteína denominada *fibrilina*, que agrega fuerza y estabilidad. Como consecuencia de su estructura molecular exclusiva, las fibras elásticas son fuertes pero pueden estirarse hasta un 150% de su longitud basal (en estado de

relajación) sin romperse. También es importante la propiedad que tienen de recuperar su forma original después de estirarse, la cual se denomina *elasticidad*. Las fibras elásticas son abundantes en la piel, las paredes de los vasos sanguíneos y el tejido pulmonar.

Las **fibras reticulares** (*retículo* = diminutivo de red) son finos haces de **colágeno** con una cubierta glucoproteica que sostienen las paredes de los vasos sanguíneos y constituyen una red alrededor de las células en ciertos tejidos, como el tejido conectivo areolar (*area* = pequeño espacio), el tejido adiposo, las fibras nerviosas y el músculo liso. Producidas por los fibroblastos, las fibras reticulares son mucho más delgadas que las fibras de colágeno y forman redes ramificadas. Al igual que las fibras de colágeno, las fibras reticulares proporcionan soporte y resistencia al tejido. Las fibras reticulares abundan en el tejido conectivo reticular que forma la **estroma** (*stroma* = tapiz) o estructura de soporte de muchos órganos blandos como el bazo y los ganglios linfáticos. Estas fibras también participan en la formación de la membrana basal.



CORRELACIÓN CLÍNICA | Síndrome de Marfan

El **síndrome de Marfan** es un trastorno hereditario causado por un defecto en el gen de la fibrilina, cuyo resultado es el desarrollo anormal de las fibras elásticas. Los tejidos con abundantes fibras elásticas presentan malformaciones o debilidad. Las estructuras comprometidas con mayor frecuencia son la cubierta de los huesos (periostio), el ligamento que suspende al cristalino y las paredes de las grandes arterias. Las personas con síndrome de Marfan tienden a ser altas, con brazos, piernas y dedos de las manos y los pies desproporcionadamente largos. Un síntoma habitual es la visión borrosa causada por el desplazamiento del cristalino. La complicación más peligrosa para la vida es la debilidad de la aorta (arteria principal que se origina en el corazón), que puede causar su ruptura en forma súbita.

Clasificación de los tejidos conectivos

Como consecuencia de la diversidad de las células y la matriz extracelular y de las diferentes proporciones relativas en los distintos tejidos, la clasificación de los tejidos conectivos no es siempre clara. A continuación se ofrece el siguiente esquema para clasificarlos:

- I. Tejido conectivo embrionario
 - A. Mesénquima
 - B. Tejido conectivo mucoso
- II. Tejidos conectivos maduros
 - A. Tejidos conectivos laxos
 1. Tejido conectivo areolar
 2. Tejido adiposo
 3. Tejido conectivo reticular
 - B. Tejidos conectivos densos
 1. Tejido conectivo denso regular
 2. Tejido conectivo denso irregular
 3. Tejido conectivo elástico
 - C. Cartílago
 1. Cartílago hialino

- 2. Fibrocartílago
- 3. Cartílago elástico
- D. Tejido óseo
- E. Tejido conectivo líquido
 - 1. Tejido sanguíneo
 - 2. Linfa

Tejidos conectivos embrionarios

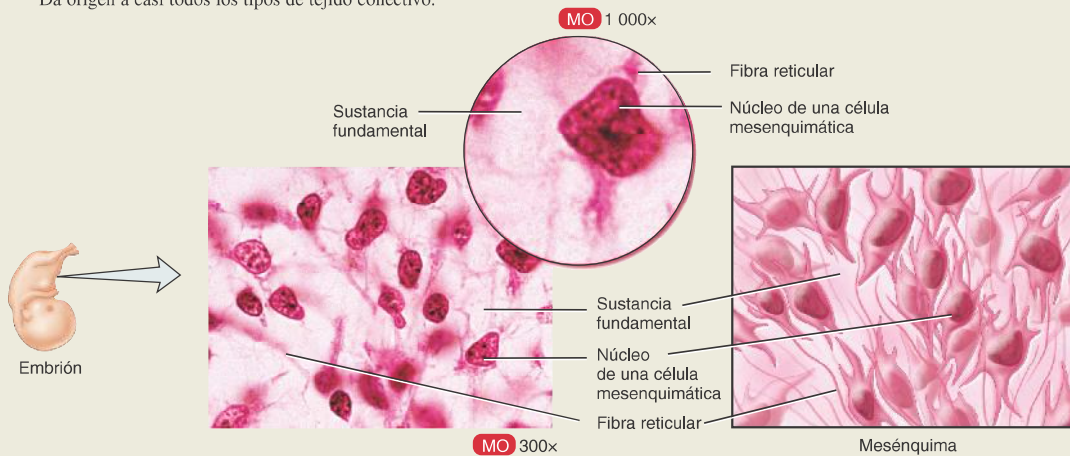
Se debe señalar que en el esquema clasificatorio se muestran dos clases principales de tejido conectivo: el embrionario y el maduro. El **tejido conectivo embrionario** se identifica sobre todo en el *embrión*, que es el ser humano en vías de desarrollo desde la fecundación y durante los 2 primeros meses de embarazo, y en el *feto*, a partir del tercer mes del embarazo hasta el nacimiento (Cuadro 4.3).

CUADRO 4.3

Tejidos conectivos embrionarios

A. MESÉNQUIMA

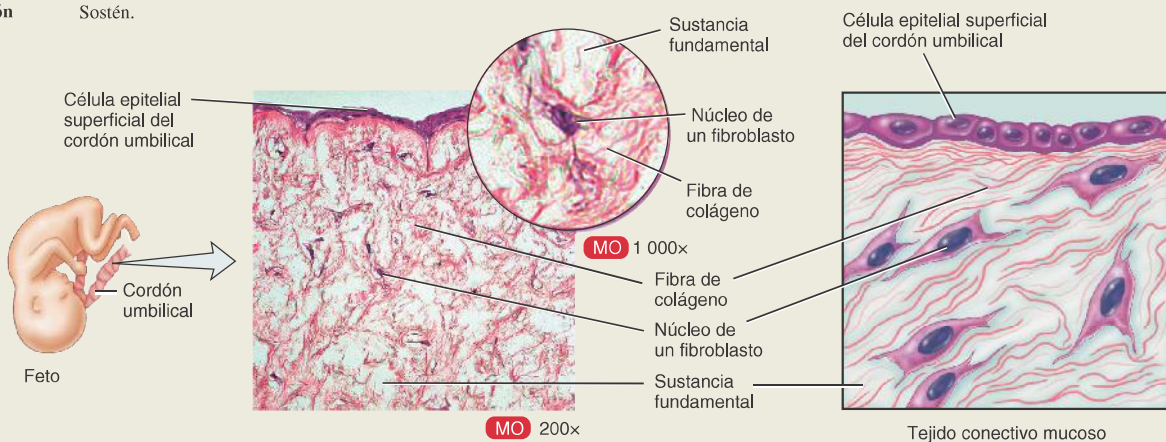
- Descripción** Células mesenquimáticas de forma irregular inmersas en una sustancia fundamental semilíquida que contiene fibras reticulares delicadas.
- Localización** Casi en forma exclusiva debajo de la piel y a lo largo de los huesos en vías de desarrollo en el embrión. En el tejido conectivo adulto se pueden encontrar algunas células mesenquimáticas, en especial a lo largo de los vasos sanguíneos.
- Función** Da origen a casi todos los tipos de tejido conectivo.



Corte transversal del mesénquima de un embrión en vías de desarrollo

B. TEJIDO CONECTIVO MUCOSO

- Descripción** Fibroblastos dispersos en forma amplia, inmersos en una sustancia fundamental viscosa y gelatinosa que contiene fibras de colágeno delicadas.
- Localización** Cordón umbilical del feto.
- Función** Sostén.



Corte transversal del tejido conectivo mucoso del cordón umbilical



Tejidos conectivos maduros

La segunda subclase mayor de tejidos conectivos, los **tejidos conectivos maduros**, están presentes en el recién nacido. Sus células se originan en forma principal en el mesénquima. En la siguiente sección se analizarán los numerosos tipos de tejido conectivo maduro. Los cinco tipos son: 1) tejido conectivo laxo, 2) tejido conectivo denso, 3) cartílago, 4) tejido óseo y 5) tejido conectivo líquido (tejido sanguíneo y linfa). A continuación se examinará cada uno en detalle.

Tejidos conectivos laxos

Las fibras de los **tejidos conectivos laxos** están dispuestas sin excesiva tensión entre las células. Los tipos de tejido conectivo laxo son el tejido conectivo areolar, el tejido adiposo y el tejido conectivo reticular (Cuadro 4.4).



CORRELACIÓN CLÍNICA | Liposucción

El procedimiento quirúrgico denominado **liposucción** (*lip* = grasa) o **lipectomía aspirativa** (*-ektomía* = extirpación quirúrgica) consiste en la aspiración de pequeñas cantidades de tejido adiposo de varias partes del cuerpo. Una vez realizada la incisión en la piel, se extrae la grasa a través de un tubo de acero inoxidable denominado cánula, con la ayuda de una unidad potente que genera presión por vacío para aspirar la grasa. La técnica puede usarse para remodelar el cuerpo en ciertas regiones como los muslos, los glúteos, los brazos, las mamas y el abdomen y para transferir grasa hacia otra área corporal. Las complicaciones posoperatorias posibles son la obstrucción del flujo sanguíneo por un fragmento de grasa que ingresa en un vaso roto durante el procedimiento, infecciones, pérdida de la sensibilidad en el área, depleción de líquido, lesión de estructuras internas y dolor posoperatorio intenso.

Tejidos conectivos densos

Los **tejidos conectivos densos** contienen más fibras, que son más gruesas y están agrupadas *más densamente* que en el tejido conectivo laxo, aunque con menor cantidad de células. Existen tres tipos: tejido conectivo denso regular, tejido conectivo denso irregular y tejido conectivo elástico (Cuadro 4.5).

Cartílago

El **cartílago** es una densa red de fibras de colágeno y elásticas inmersas con firmeza en condroitinsulfato, un componente con consistencia gelatinosa que forma parte de la sustancia fundamental. El cartílago puede soportar tensiones mucho mayores que el tejido conectivo denso o laxo. El cartílago le debe su resistencia a las fibras de colágeno y su *elasticidad* (capacidad de recobrar su forma original después de haber sido deformado) al condroitinsulfato.

Al igual que otros tejidos conectivos, el cartílago posee pocas células y grandes cantidades de matriz extracelular, pero difiere de otros tejidos conectivos en que carece de nervios y vasos sanguíneos en su matriz extracelular. Resulta interesante destacar que el cartílago no posee irrigación sanguínea porque secreta un factor *antiangiogénesis* (*anti* = contra, *-angei* = vaso y *-génesis* = formación), que es una sustancia que inhibe el crecimiento vascular. Debido a esta propiedad, en la actualidad se evalúa el factor antiangiogénico como posible tratamiento contra el cáncer. Si fuera posible inhibir la capacidad de las células cancerosas de promover el crecimiento de nuevos vasos sanguíneos, su división y expansión celular rápidas podrían reducirse o incluso detenerse.

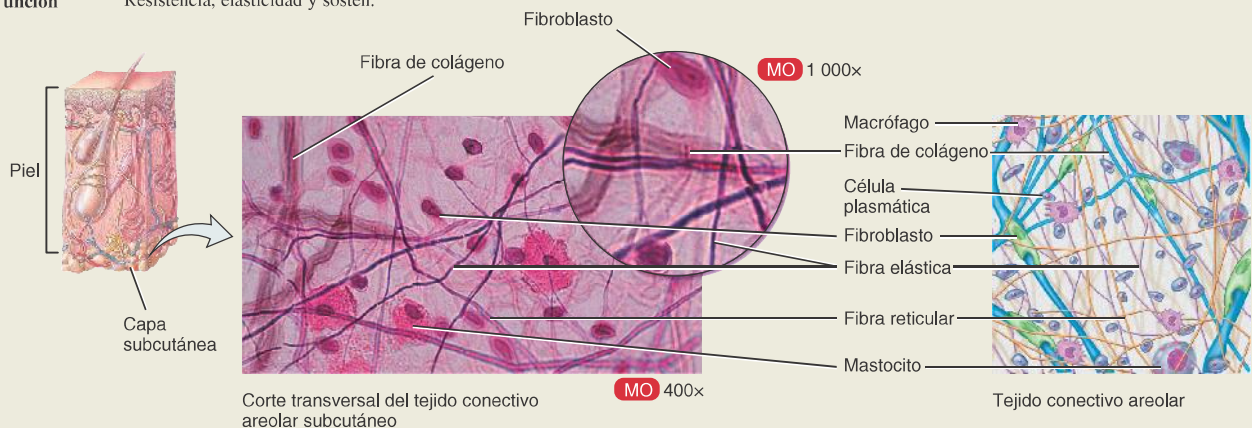
Las células del cartílago maduro, denominadas **condrocitos** (*khón-dros* = cartílago), se presentan aisladas o en grupos dentro de espacios llamados **lagunas** en la matriz extracelular. Una membrana de tejido conectivo denso irregular, llamada **pericondrio** (*peri* = alrededor de), cubre la mayor parte del cartílago, contiene vasos sanguíneos y ner-

CUADRO 4.4

Tejidos conectivos maduros: tejidos conectivos laxos

A. TEJIDO CONECTIVO AREOLAR

Descripción	Uno de los tejidos conectivos más dispersos en el organismo; está constituido por fibras (de colágeno, elásticas y reticulares) dispuestas en forma aleatoria y varios tipos de células (fibroblastos, macrófagos, células plasmáticas, adipocitos, mastocitos y unos pocos leucocitos) inmersos en una sustancia fundamental semilíquida (ácido hialurónico, condroitinsulfato, dermatansulfato y queratansulfato).
Localización	En y alrededor de casi todas las estructuras corporales (por lo que se conoce como "material cobertor" del organismo); tejido celular subcutáneo, región papilar (superficial) de la dermis, lámina propia de las mucosas y alrededor de los vasos sanguíneos, los nervios y los órganos.
Función	Resistencia, elasticidad y sostén.



CUADRO 4.4 CONTINUACIÓN

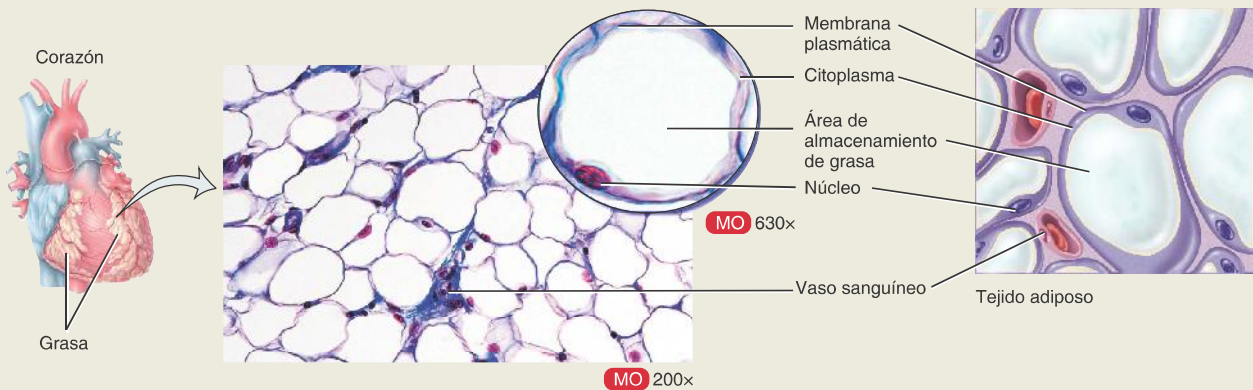
Tejidos conectivos maduros: tejidos conectivos laxos

B. TEJIDO ADIPOSO

Descripción Tiene células derivadas de los fibroblastos (denominadas **adipocitos**), que están especializadas para almacenar triglicéridos (grasas) en una gran gota intracelular central. En las células ocupadas por una sola gota grande de triglicérido, el citoplasma y el núcleo se desplazan hacia una localización periférica. Cuando un individuo aumenta de peso, la cantidad de tejido adiposo aumenta y se forman nuevos vasos sanguíneos. En consecuencia, una persona obesa tiene muchos más vasos sanguíneos que una delgada, situación que puede generar hipertensión arterial, dado que el corazón debe bombear la sangre con más fuerza. La mayor parte del tejido adiposo en los adultos se encuentra en el *tejido adiposo blanco* (ya descrito). El *tejido adiposo pardo* es más oscuro debido a su abundante irrigación sanguínea y a las numerosas mitocondrias pigmentadas que participan en la respiración celular aeróbica. El tejido adiposo pardo está distribuido en forma amplia en el feto y el lactante; los adultos sólo poseen pequeñas cantidades.

Localización En todos los sitios donde exista tejido areolar: tejido celular subcutáneo ubicado debajo de la piel, alrededor del corazón y los riñones, en la médula ósea amarilla y en las almohadillas alrededor de las articulaciones y detrás del ojo en la cavidad orbitaria.

Función Reduce la pérdida de calor a través de la piel, sirve como reserva de energía y brinda soporte y protección a los órganos. En el recién nacido el tejido adiposo pardo genera calor para mantener una temperatura corporal apropiada.



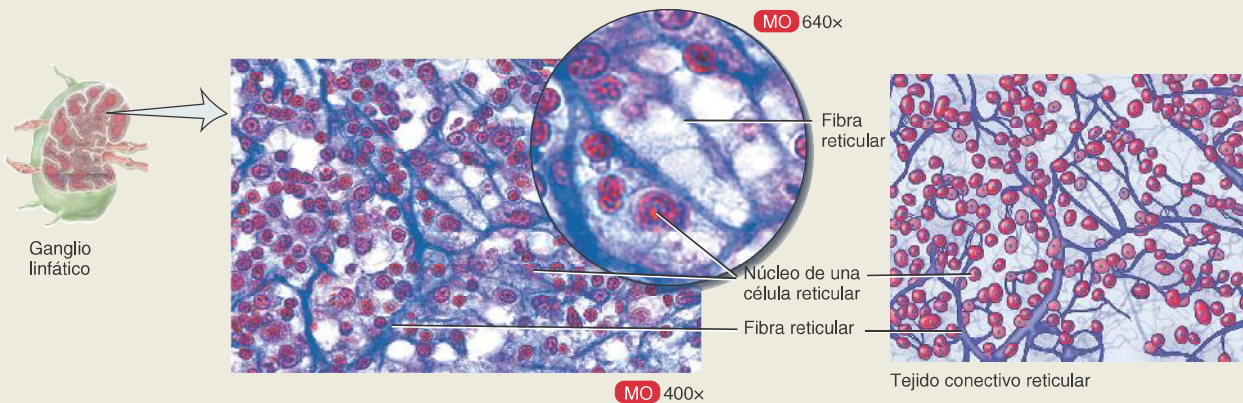
Corte transversal del tejido adiposo que muestra los adipocitos del tejido adiposo blanco y los detalles de un adipocito

C. TEJIDO CONECTIVO RETICULAR

Descripción Red delicada de fibras reticulares (como las fibras de colágeno pero más delgadas) y células reticulares.

Localización Estroma (marco de soporte) del hígado, el bazo, los ganglios linfáticos, la médula ósea, la lámina reticular de la membrana basal y alrededor de los vasos sanguíneos y los músculos.

Función Forma la estroma de los órganos, une las células musculares lisas y filtra y elimina las células sanguíneas deterioradas en el bazo y los microorganismos en los ganglios linfáticos.



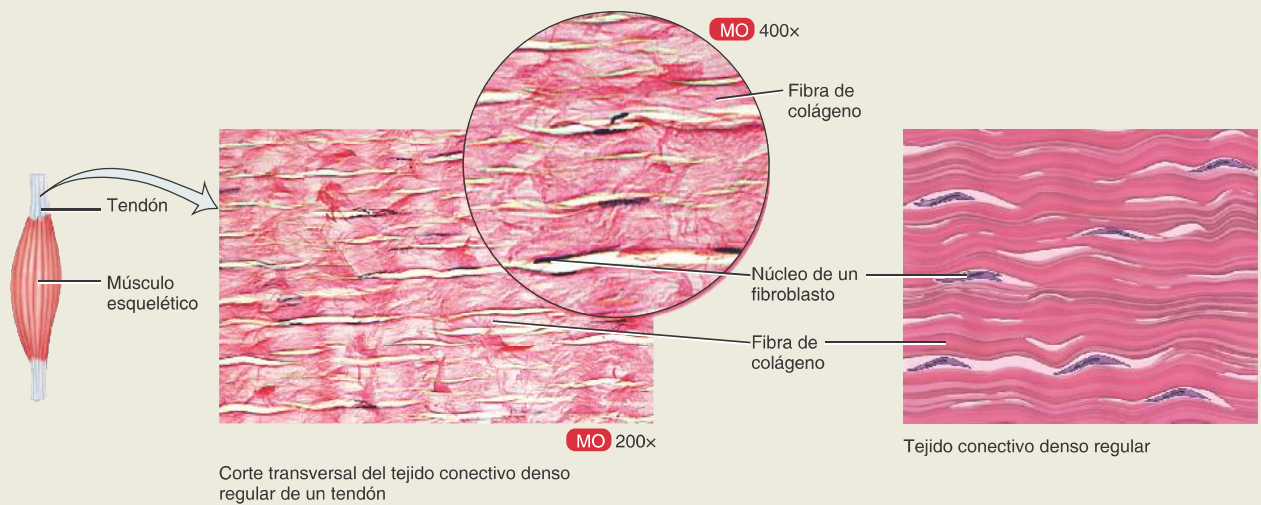
Corte transversal del tejido conectivo reticular de un ganglio linfático

CUADRO 4.5

Tejidos conectivos maduros: tejidos conectivos densos

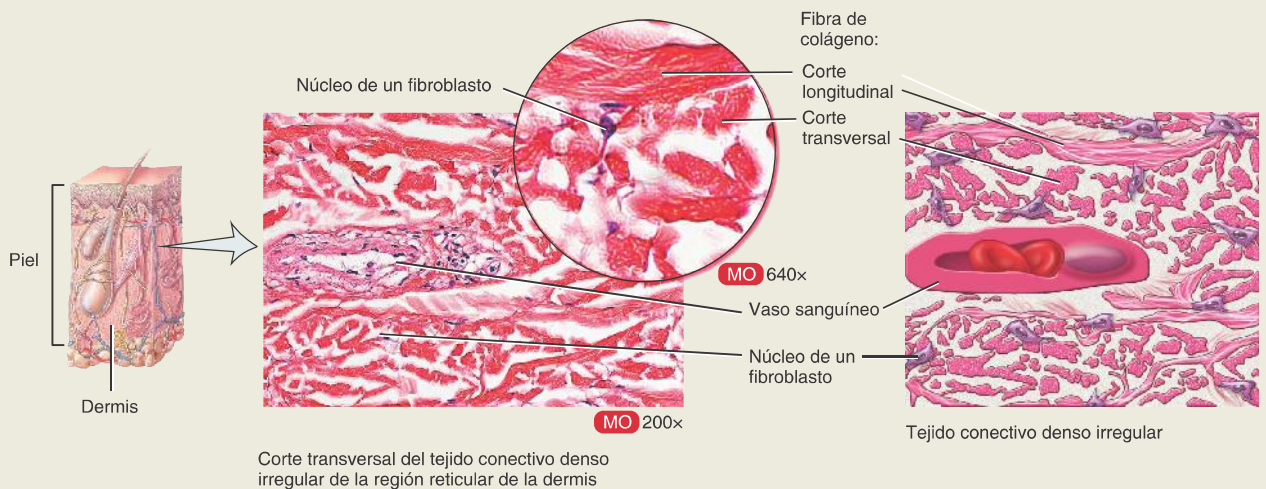
D. TEJIDO CONECTIVO DENSO REGULAR

- Descripción** Matriz extracelular blanca brillante. Formado sobre todo por fibras de colágeno dispuestas en haces *regulares* con fibroblastos en hileras entre los haces. Las fibras de colágeno no están vivas (son estructuras proteicas secretadas por los fibroblastos), de manera que los tendones y los ligamentos lesionados cicatrizan con gran lentitud.
- Localización** Forman los tendones (adhieren los músculos a los huesos), la mayoría de los ligamentos (conectan los huesos entre sí) y las aponeurosis (tendones laminares que unen los músculos entre sí o con los huesos).
- Función** Inserta con firmeza una estructura en otra. La estructura del tejido soporta la tracción (tensión) a lo largo del eje longitudinal de las fibras.



E. TEJIDO CONECTIVO DENSO IRREGULAR

- Descripción** Fibras de colágeno; en general dispersas en forma *irregular* con pocos fibroblastos.
- Localización** Con frecuencia constituye láminas, como fascias (tejido debajo de la piel y alrededor de los músculos y otros órganos), la región reticular (más profunda) de la dermis, el pericardio fibroso del corazón, el periostio del hueso, el pericondrio del cartilago, las cápsulas articulares, las cápsulas membranosas que rodean diversos órganos (riñones, hígado, testículos, ganglios linfáticos) y también las válvulas cardíacas.
- Función** Proporciona resistencia a la tensión en varias direcciones.

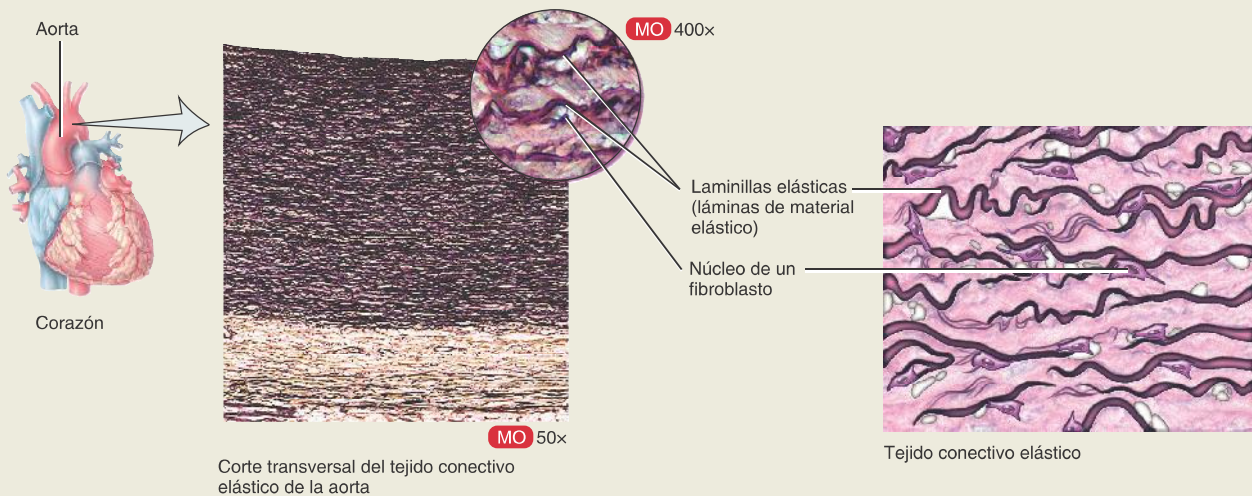


CUADRO 4.5 CONTINUACIÓN

Tejidos conectivos maduros: tejidos conectivos densos

F. TEJIDO CONECTIVO ELÁSTICO

Descripción	Predominio de fibras elásticas con fibroblastos entre las fibras; el tejido no teñido es de color amarillento.
Localización	Tejido pulmonar, paredes de las arterias elásticas, tráquea, bronquios, cuerdas vocales verdaderas, ligamentos suspensorios del pene, algunos ligamentos entre las vértebras.
Función	Permite el estiramiento de varios órganos, es resistente y puede recuperar su forma original después de estirarse. La elasticidad es importante para el funcionamiento normal del tejido pulmonar (retrocede durante la espiración) y las arterias elásticas (retroceden entre los latidos para ayudar a mantener el flujo sanguíneo).



vios y origina nuevas células cartilaginosas. Como el cartílago no tiene vasos sanguíneos, cicatriza con lentitud después de una lesión.

Las células y la matriz extracelular incluida en colágeno forman un material firme y fuerte que resiste la tensión (estiramiento), la compresión y el cizallamiento (tracción hacia la dirección opuesta). El condroitinsulfato presente en la matriz extracelular es responsable en gran medida de la elasticidad del cartílago. Como consecuencia de estas propiedades, el cartílago cumple un papel importante como tejido de soporte en el organismo. También es precursor de hueso y constituye casi todo el esqueleto embrionario. Si bien el hueso reemplaza de manera gradual al cartílago a través del desarrollo, el cartílago persiste después del nacimiento en forma de placas de crecimiento dentro de los huesos, que les permiten aumentar su longitud durante la infancia. El cartílago también persiste durante toda la vida en las superficies articulares lubricadas de la mayoría de las articulaciones.

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

Reparación y crecimiento del cartílago

Desde un punto de vista metabólico, el cartílago es un tejido inactivo que crece con lentitud. Cuando sufre una lesión o se inflama, el proceso de reparación es lento, en gran parte porque es avascular. Las sustancias necesarias para la reparación y las células sanguíneas que participan en el proceso deben difundir o migrar hacia el cartílago. El crecimiento del cartílago sigue dos patrones básicos: crecimiento intersticial y por aposición.

En el **crecimiento intersticial** se observa crecimiento dentro del tejido. El incremento de tamaño del cartílago es rápido debido a la división de condrocitos preexistentes y al depósito continuo de cantidades crecientes de matriz extracelular que sintetizan los condrocitos. A medida que los condrocitos secretan matriz nueva, se alejan unos de otros. Esto hace que el cartílago se expanda de la misma manera que se levanta el pan durante la cocción; dado que aumenta el intersticio, recibe el nombre de crecimiento *intersticial*. Este patrón de crecimiento se produce cuando el cartílago es joven y flexible, durante la infancia y la adolescencia.

En el **crecimiento por aposición** aumenta la superficie externa del tejido. Las células de la capa celular interna del pericondrio se diferencian en condroblastos. A medida que la diferenciación continúa, los condroblastos se rodean a sí mismos de matriz extracelular y se convierten en condrocitos. De esta manera, se acumula matriz debajo del pericondrio en la superficie externa del cartílago, lo que determina su crecimiento en ancho. El crecimiento por aposición comienza más tarde que el crecimiento intersticial y continúa a lo largo de la adolescencia.

Tejido óseo

El cartílago, las articulaciones y los huesos forman el sistema esquelético, que sostiene los tejidos blandos, protege las estructuras delicadas y trabaja con los músculos esqueléticos para generar movimiento. Los huesos almacenan calcio y fósforo, alojan a la médula ósea roja, que produce células sanguíneas, y contienen médula ósea

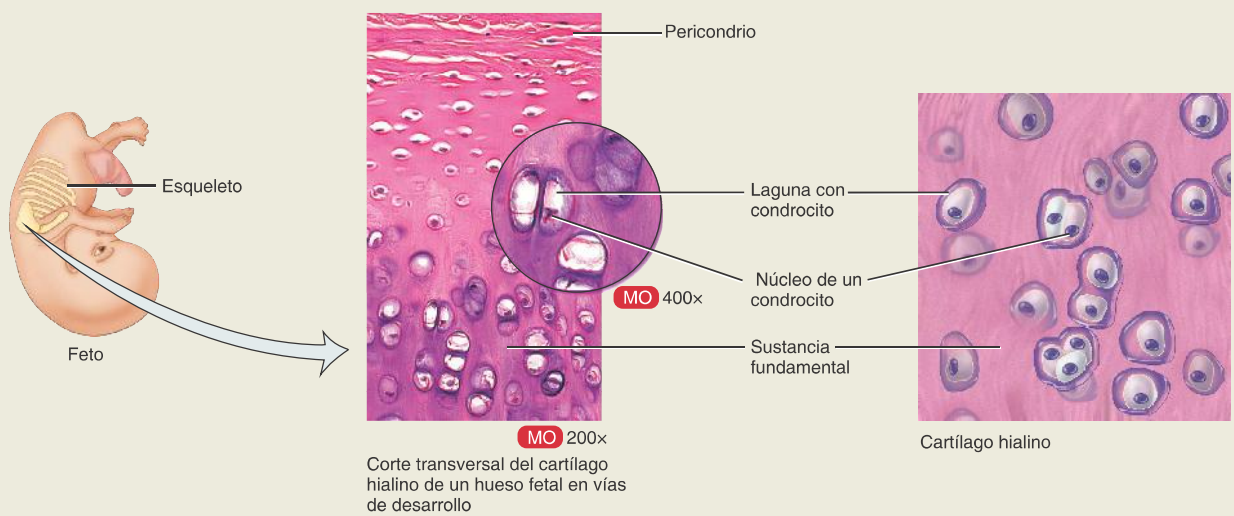


CUADRO 4.6

Tejidos conectivos maduros: cartílago

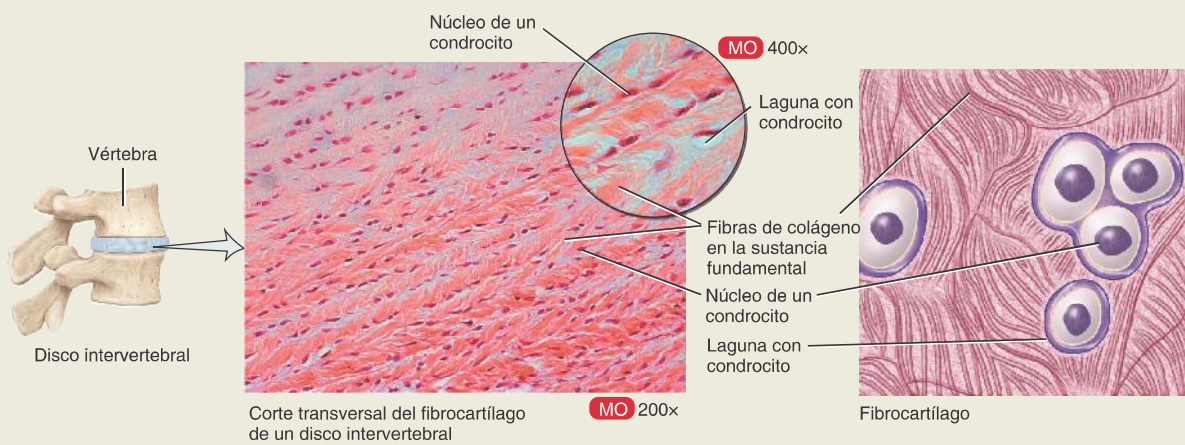
A. CARTÍLAGO HIALINO

- Descripción** El cartílago hialino (*hyal-* = vítreo) contiene un gel elástico que representa la sustancia fundamental y se manifiesta en el organismo como una sustancia blancoazulada brillante (puede teñirse de color rosado o púrpura cuando se prepara para el examen microscópico). Las fibras de colágeno delgadas no se identifican con las técnicas de tinción comunes y se detectan condrocitos prominentes en lagunas rodeadas por pericondrio (excepciones: cartílago articular y cartílago de las placas epifisarias, donde los huesos se alargan durante el crecimiento).
- Localización** Cartílago más abundante del organismo. Se localiza en los extremos de los huesos largos, las regiones anteriores de las costillas, la nariz, en ciertas áreas de la laringe, la tráquea, los bronquios, los bronquiolos y el esqueleto embrionario y fetal.
- Función** Provee superficies lisas para los movimientos articulares, además de flexibilidad y sostén. Es el tipo de cartílago más débil.



B. FIBROARTÍLAGO

- Descripción** Condrocitos dispersos entre haces gruesos visibles de fibras de colágeno dentro de una matriz extracelular. Carece de pericondrio.
- Localización** Sífnisis del pubis (unión anterior de los huesos de la cadera), discos intervertebrales, meniscos (almohadillas cartilaginosas) y porciones de tendones que se insertan en el cartílago.
- Función** Soporte y unión de las estructuras entre sí. Su fuerza y su rigidez determinan que sea el tipo de cartílago más resistente.

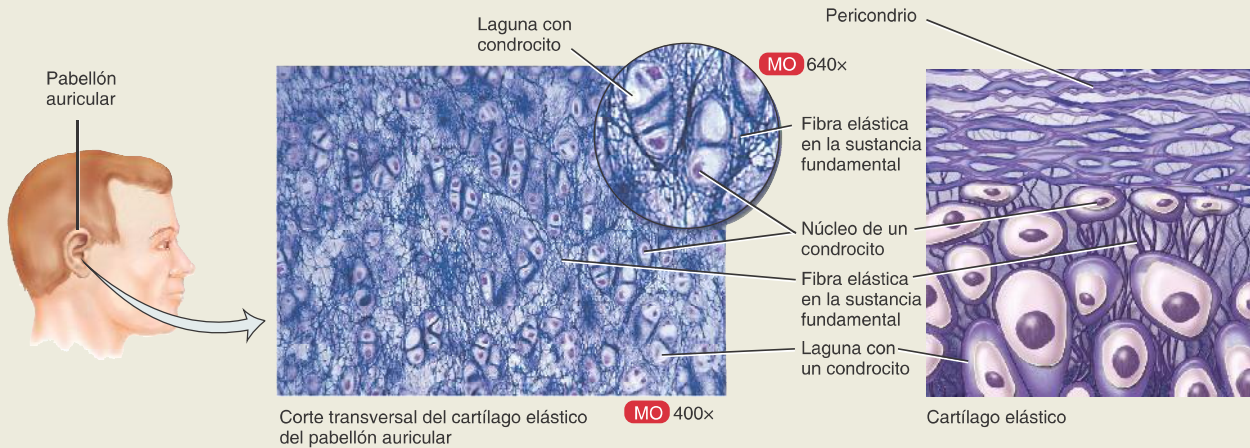


CUADRO 4.6 CONTINUACIÓN

Tejidos conectivos maduros: cartílago

C. CARTÍLAGO ELÁSTICO

Descripción	Condrocitos dispuestos en una red de fibras elásticas dentro de una matriz extracelular. Tiene pericondrio.
Localización	Epiglotis (tapa de la laringe), parte del oído externo (pabellón auricular) y trompas auditivas.
Función	Brinda fuerza y elasticidad; mantiene la forma de algunas estructuras.



amarilla, que almacena triglicéridos. Los huesos son órganos compuestos por diferentes tejidos conectivos, como por ejemplo el **hueso** o **tejido óseo**, el periostio, las médulas óseas roja y amarilla y el endostio (una membrana que reviste una cavidad en el interior del hueso donde se aloja la médula ósea amarilla). El tejido óseo se clasifica en compacto o esponjoso según la organización de la matriz extracelular y las células.

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

1. Las **laminillas** son anillos concéntricos de matriz extracelular constituidos por sales minerales (sobre todo calcio y fosfato) que le otorgan rigidez y fuerza compresiva al hueso, y por fibras de colágeno que le confieren resistencia a la tensión. Las laminillas son responsables de la naturaleza compacta de este tipo de tejido óseo.
2. Las **lagunas** son pequeños espacios entre las laminillas que contienen células óseas maduras denominadas **osteocitos**.
3. Desde las lagunas se proyectan **canalículos**, que son redes de diminutos canales que contienen las prolongaciones de los osteocitos. Los canalículos proveen vías para que los nutrientes puedan alcanzar los osteocitos y para eliminar los desechos que producen.
4. El **conducto central (de Havers)** contiene vasos sanguíneos y nervios.

El **hueso esponjoso** carece de osteonas. En su lugar presenta columnas óseas, denominadas **trabéculas**, que contienen laminillas, osteocitos, lagunas y canalículos. Los espacios entre las trabéculas están ocupados por médula ósea roja. En el Capítulo 6 se describirá la histología del tejido óseo con mayor detalle.

CORRELACIÓN CLÍNICA | Ingeniería de tejidos

La **ingeniería de tejidos** es una tecnología que combina material sintético con células y les permitió a los científicos desarrollar nuevos tejidos en el laboratorio para reemplazar los tejidos corporales dañados. Se desarrollaron distintas versiones de piel y cartilago cultivados en matrices de materiales sintéticos biodegradables o colágeno como sustrato, que hace posible el cultivo de células del organismo. A medida que las células se dividen y se unen entre sí en la matriz, ésta se degrada y el nuevo tejido permanente se implanta en el paciente. Otras estructuras que se investigan en la actualidad son hueso, tendones, válvulas cardíacas, médula ósea e intestino. También se evalúa la obtención de células productoras de insulina para diabéticos, células productoras de dopamina para pacientes con enfermedad de Parkinson y hasta órganos enteros como hígados y riñones.

Tejido conectivo líquido

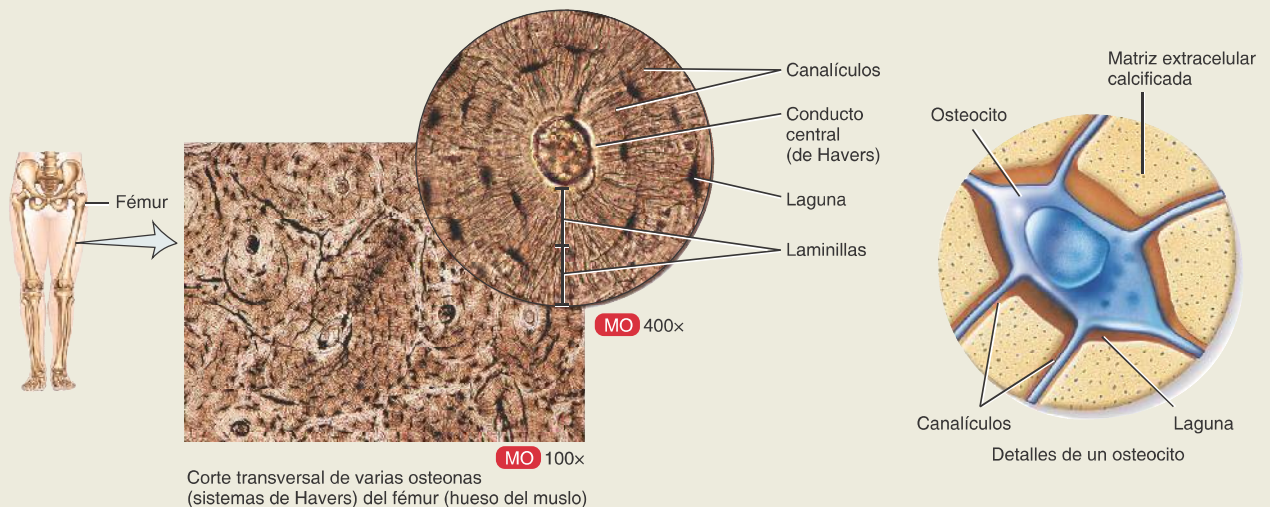
TEJIDO SANGUÍNEO El **tejido sanguíneo** (o simplemente **sangre**) es un tejido conectivo que posee una matriz extracelular líquida y elementos formes. La matriz extracelular se denomina **plasma** y es un líquido de color amarillo pálido compuesto en forma principal por agua y una amplia variedad de sustancias disueltas: nutrientes, desechos, enzimas, proteínas plasmáticas, hormonas, gases respiratorios e iones. Suspendidos en el plasma se encuentra los **elementos formes**, que son los glóbulos rojos (eritrocitos), los glóbulos blancos (leucocitos) y las plaquetas (trombocitos) (Cuadro 4.8). Los **eritrocitos** transportan oxígeno hacia todas las células del cuerpo y extraen de ellas

CUADRO 4.7

Tejidos conectivos maduros: tejido óseo

C. CARTÍLAGO ELÁSTICO

Descripción	El tejido óseo compacto está formado por osteonas (sistemas de Havers) que contienen laminillas, lagunas, osteocitos, canaliculos y conductos centrales (de Havers). En cambio, el tejido óseo esponjoso (véase la Figura. 6.3a, b) está formado por delgadas columnas denominadas trabéculas, que dejan espacios entre ellas ocupados por médula ósea roja.
Localización	Ambos tipos de tejidos constituyen las diferentes partes de los huesos del cuerpo.
Función	Sostén, protección, almacenamiento, albergue de la médula ósea. Sirven como palancas junto con los músculos para permitir la realización de movimientos.



dióxido de carbono. Los **leucocitos** se encargan de la fagocitosis e intervienen en la inmunidad y las reacciones alérgicas. Las **plaquetas** participan en la coagulación de la sangre. La sangre se explica en profundidad en el Capítulo 19.

LINFIA La **linfa** es un líquido extracelular que fluye dentro de los vasos linfáticos. Es un tejido conectivo constituido por varios tipos de células suspendidas en una matriz extracelular líquida transparente similar al plasma, pero con un contenido mucho menor de proteínas. La composición de la linfa varía entre las distintas partes del cuerpo. Por ejemplo, la linfa que sale de los ganglios linfáticos contiene muchos linfocitos, que son un tipo de leucocito, en comparación con la linfa proveniente del intestino delgado que presenta un alto contenido de lípidos provenientes de la dieta. La linfa se describe en detalle en el Capítulo 22.

✓ PREGUNTAS DE REVISIÓN

11. ¿Cuáles son las diferencias entre los tejidos conectivos y los epitelios?
12. ¿Cuáles son las características de las células, la sustancia fundamental y las fibras que constituyen los tejidos conectivos?
13. ¿Cómo se clasifican los tejidos conectivos? Enumere los diferentes tipos.

14. Describa la relación entre las estructuras de los siguientes tejidos conectivos y sus funciones: tejido conectivo areolar, tejido adiposo, tejido conectivo reticular, tejido conectivo denso regular, tejido conectivo denso irregular, tejido conectivo elástico, cartilago hialino, fibrocartilago, cartilago elástico, tejido óseo, tejido sanguíneo y linfa.
15. ¿Cuál es la diferencia entre el crecimiento intersticial y el crecimiento por aposición del cartilago?

4.6 MEMBRANAS

■ OBJETIVOS

- Definir una membrana.
- Clasificar las membranas.

Las **membranas** son láminas planas de tejido flexible que revisten una parte del cuerpo. La mayoría de las membranas está compuesta por una capa epitelial y una capa de tejido conectivo subyacente y se denomina **membrana epitelial**. Las principales membranas epiteliales del organismo son las membranas mucosas, las membranas serosas y la piel. Otro tipo de membrana, una membrana sinovial, tapiza las articulaciones y contiene tejido conectivo pero no epitelio.