

# PARTES DE LA CÉLULA

En la Figura 3.1 se muestra un panorama general de las estructuras que se encuentran en una célula del organismo. La mayoría de las células tiene muchas de las estructuras que se muestran en este diagrama. Para facilitar el aprendizaje, se divide a la célula en tres partes principales: la membrana plasmática, el citoplasma y el núcleo.

1. La membrana plasmática forma la superficie flexible externa de la célula y separa su medio interno (todo lo que se encuentra dentro de la célula) del medio externo (todo lo que se encuentra fuera de la célula). La membrana plasmática es una barrera selectiva que regula el flujo de materiales hacia el interior y el exterior celular. Esta selectividad ayuda a establecer y mantener el ambiente apropiado para las actividades celulares normales. La membrana plasmática también desempeña un papel importante en la comunicación entre las células y de las células con el medio externo.

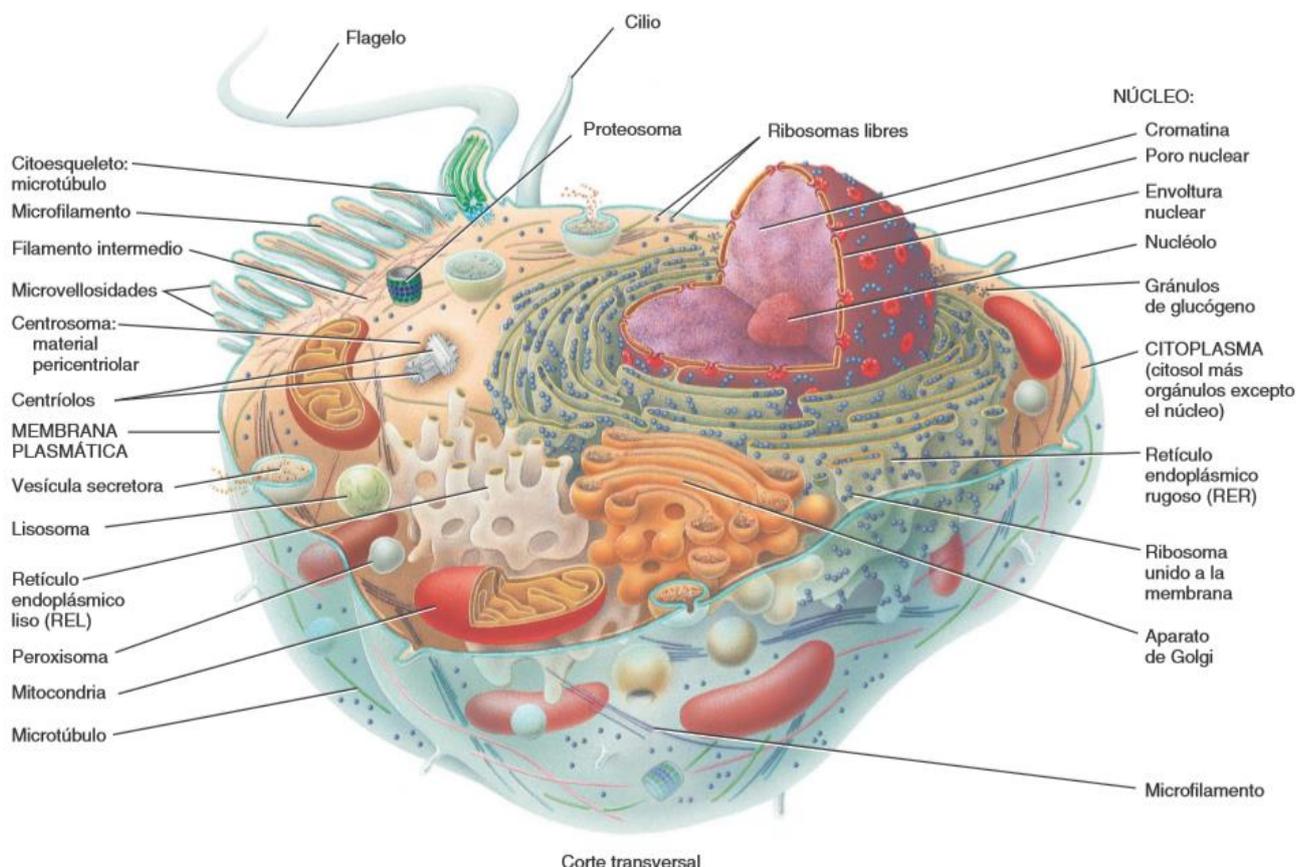
2. El citoplasma (-plásma = modelado) abarca todos los componentes de la célula que se encuentran entre la membrana plasmática y el núcleo. Este compartimento tiene dos componentes: el citosol y los orgánulos. El citosol es la porción líquida del citoplasma y contiene agua, solutos disueltos y partículas en suspensión. Dentro del citosol se encuentran varios tipos diferentes de orgánulos (pequeños órganos). Cada uno tiene una forma característica y funciones específicas. Algunos ejemplos de orgánulos son el citoesqueleto, los ribosomas, el retículo endoplásmico o endoplasmático, el aparato de Golgi, los lisosomas, los peroxisomas y las mitocondrias.

3. El núcleo es un orgánulo grande que alberga la mayor parte del DNA (ácido desoxirribonucleico) de la célula. Dentro del núcleo, cada cromosoma (khróoma- = coloreado), que es una molécula única de DNA asociada con varias proteínas, contiene miles de unidades hereditarias denominadas genes que controlan casi todos los aspectos relacionados con la estructura y la función de la célula.

**Figura 3.1** Estructuras típicas del cuerpo de las células.



La célula es la unidad estructural y funcional básica viviente del organismo.



## MEMBRANA PLASMÁTICA

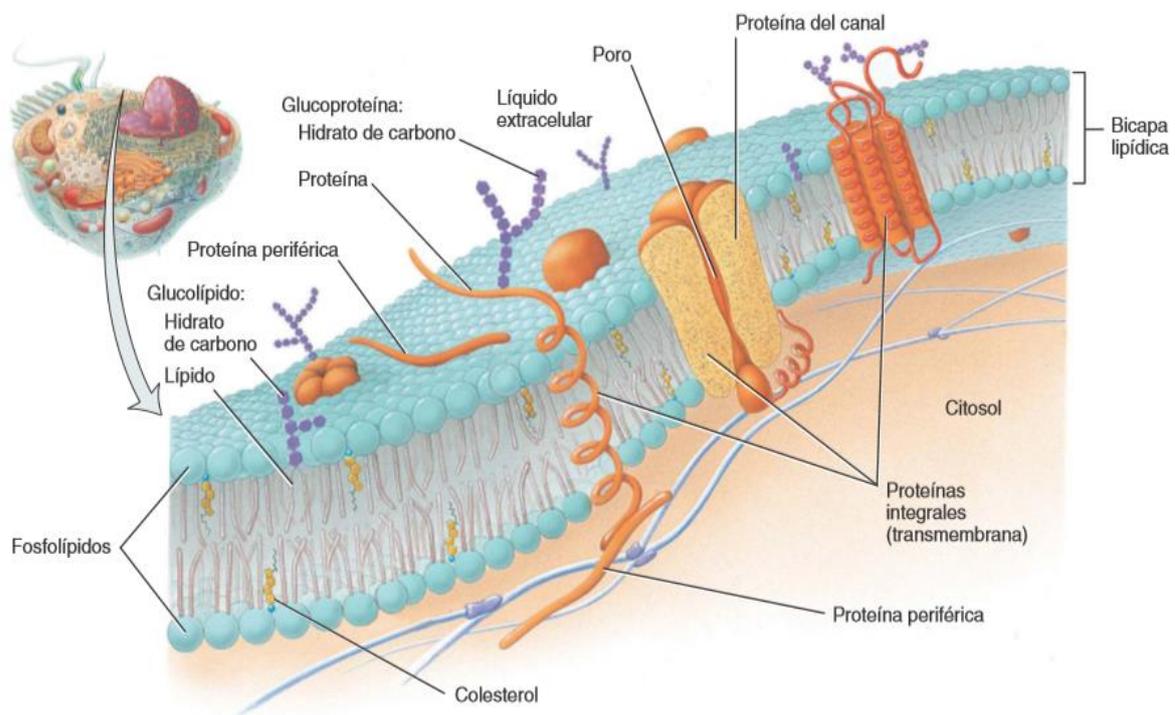
La membrana plasmática, una barrera flexible pero a la vez resistente que rodea y contiene al citoplasma de la célula, se describe mejor con un modelo estructural denominado mosaico fluido. De acuerdo con este modelo, la disposición molecular de la membrana plasmática se asemeja a un mar de lípidos en constante movimiento que contiene un mosaico de numerosas proteínas diferentes (Figura 3.2). Algunas proteínas flotan libremente como un témpano en ese mar de lípidos, mientras que otras están ancladas en localizaciones específicas a modo de islas. Los lípidos de la membrana permiten el pasaje de diversas moléculas liposolubles pero actúan como barrera que regula la entrada o la salida de sustancias con cargas eléctricas o polares. Algunas de las proteínas presentes en la membrana plasmática permiten la transferencia de las moléculas polares y de los iones hacia el interior y el exterior de la célula. Otras proteínas pueden actuar como receptores de señales o en la conexión entre la membrana plasmática y las proteínas intracelulares o extracelulares.

### Estructura de la membrana plasmática

**Bicapa lipídica** El marco estructural básico de la membrana plasmática es la bicapa lipídica, que consiste en dos capas yuxtapuestas “espalda con espalda” formadas por tres tipos de moléculas lipídicas: fosfolípidos, colesterol y glucolípidos (Figura 3.2). Alrededor del 75% de los lípidos de la membrana son fosfolípidos, o sea lípidos que contienen grupos fosfato. El resto de los lípidos está representado por colesterol (alrededor del 20%), un esteroide con un grupo  $-OH$  (hidroxilo) unido a él y varios tipos de glucolípidos (alrededor del 5%), que son lípidos unidos a grupos de hidratos de carbono. La disposición en bicapa es el resultado de la naturaleza anfipática de los lípidos, lo que significa que tienen tanto partes polares como no polares. En los fosfolípidos (véase la Figura 2.18), el segmento polar es la “cabeza” que contiene fosfato y es hidrófila (hydro- = agua, -philo = amante). Los segmentos no polares están formados por dos “colas” de ácidos grasos largos, que son cadenas hidrocarbonadas hidrófobas (-phob, que rehúye). Como los “compuestos similares se atraen entre sí”, las moléculas de fosfolípidos se orientan en la membrana plasmática con sus cabezas hidrófilas hacia el exterior. De tal forma, las cabezas enfrentan al líquido acuoso situado a ambos lados de la membrana (citosol en el interior y líquido extracelular en el exterior). Las colas hidrófobas de los ácidos grasos presentes en cada mitad de la

**Figura 3.2** Disposición en mosaico fluido de los lípidos y proteínas de la membrana plasmática.

Las membranas son estructuras fluidas porque los lípidos y muchas de sus proteínas tienen la posibilidad de rotar y moverse hacia uno y otro lado con libertad en su propia mitad de la bicapa.



bicapa se enfrentan entre sí y forman una región no polar, hidrófoba, en el interior de la membrana. Las moléculas de colesterol son anfipáticas débiles (véase la Figura 2.19a) y se disponen entre los otros lípidos en ambas capas de la membrana. El pequeño grupo  $-OH$  es la única región polar de la molécula de colesterol y forma puentes de hidrógeno con las cabezas polares de los fosfolípidos y los glucolípidos. Los anillos esteroides rígidos y la cola hidrocarbonada del colesterol son no polares y se ubican entre las colas de ácidos grasos de los fosfolípidos y los glucolípidos. Los grupos hidratos de carbono de los glucolípidos forman una “cabeza” polar; sus “colas” de ácidos grasos son no polares. Los glucolípidos sólo aparecen en la capa de la membrana celular que está en contacto con el líquido extracelular, una de las razones por las cuales las dos capas de la membrana son asimétricas o diferentes.

## Disposición de las proteínas de la membrana

Las proteínas de membrana se clasifican en integrales o periféricas en función de su localización en la profundidad de la membrana (Figura 3.2). Las proteínas integrales se extienden hasta el interior o a través de la bicapa lipídica, entre las colas de ácidos grasos, unidas con firmeza a ellas. La mayor parte de las proteínas integrales corresponde a proteínas de transmembrana, lo cual significa que atraviesan por completo la bicapa lipídica, sobresaliendo tanto en el citosol como en el líquido extracelular. Unas pocas proteínas integrales se adhieren con firmeza a un lado de la bicapa por enlaces covalentes con los ácidos grasos. Al igual que lípidos de la membrana, las proteínas integrales de la membrana son anfipáticas. Sus regiones hidrófilas sobresalen hacia el líquido extracelular acuoso o el citosol y sus regiones hidrófobas se extienden entre las colas de los ácidos grasos. Como su nombre lo indica, las proteínas periféricas no están embebidas con tanta firmeza en la membrana y se unen con las cabezas polares de los lípidos o con proteínas integrales situadas en la superficie interna o externa de la membrana. Muchas proteínas integrales de la membrana son glucoproteínas, o sea proteínas que contienen un grupo hidrato de carbono unido a su extremo que sobresale en el líquido extracelular. Los hidratos de carbono son oligosacáridos (óligos- = poco y -sákkharon = azúcares), que consisten en cadenas de 2 a 60 monosacáridos simples o ramificadas. Las porciones hidrocarbonadas de los glucolípidos y las glucoproteínas forman una cubierta azucarada extensa llamada glucocáliz. El patrón de hidratos de carbono del glucocáliz varía entre las distintas células. Por lo tanto, actúa como una “rúbrica” molecular que les permite a las células reconocerse entre sí. Por ejemplo, la capacidad de los leucocitos para detectar un glucocáliz “extraño” es uno de los fundamentos de la respuesta inmunitaria que nos ayuda a destruir los microorganismos invasores. Asimismo, el glucocáliz permite que las células se adhieran entre sí en ciertos tejidos e impide su digestión por las enzimas del líquido extracelular. Las propiedades hidrófilas del glucocáliz atraen una película de líquido hacia la superficie de muchas células. Esto permite que los eritrocitos se desplacen en forma regular a través de vasos sanguíneos de diámetro pequeño y protege a las células que tapizan las vías respiratorias y el tubo digestivo de la deshidratación.

## Funciones de las proteínas de membrana

En general, los tipos de lípidos de las membranas celulares varían muy poco. En cambio, las membranas de diferentes células y los distintos orgánulos intracelulares tienen una distribución específica y variada de proteínas, que determina muchas de las funciones de la membrana (Figura 3.3).

- Algunas proteínas integrales forman canales iónicos, poros u orificios a través de los cuales pueden fluir iones específicos, como iones de potasio ( $K^+$ ), tanto hacia el interior como hacia el exterior de la célula. Casi todos los canales iónicos son selectivos, o sea que un solo tipo de ion puede atravesarlos.
- Otras proteínas integrales actúan como transportadores, responsables de movilizar en forma selectiva una sustancia polar o un ion desde un lado de la membrana hacia el otro.
- Las proteínas integrales denominadas receptores actúan como sitios de reconocimiento celular. Cada tipo de receptor reconoce y se une a un tipo específico de molécula. Por ejemplo, los receptores de insulina se unen a la

hormona llamada insulina. Una molécula específica que se une a un receptor se denomina ligando (liga, unido) de ese receptor.

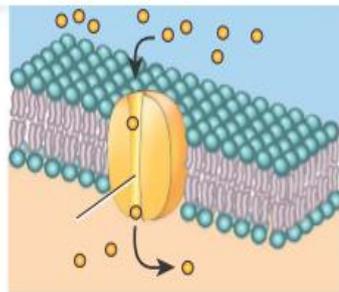
- Algunas proteínas integrales son enzimas que catalizan reacciones químicas específicas en la superficie interna o externa de la célula.
- Las proteínas integrales también pueden actuar como conectores (proteínas de unión), que unen las proteínas en las membranas plasmáticas de las células vecinas entre sí o con los filamentos proteicos que se encuentran dentro y fuera de la célula. Las proteínas periféricas también sirven como enzimas y conectores.
- Las glucoproteínas y los glucolípidos de la membrana actúan con frecuencia como marcadores de la identidad celular. Pueden permitirle a una célula (1) reconocer a otras de la misma clase durante la formación de los tejidos o (2) reconocer y responder a células extrañas potencialmente peligrosas. Los marcadores del grupo sanguíneo ABO son un ejemplo de marcadores de identidad celular. Cuando un paciente recibe una transfusión de sangre, el tipo de sangre debe ser compatible con la del receptor o, de lo contrario, los eritrocitos experimentarán una reacción de aglutinación.

Asimismo, las proteínas periféricas ayudan a sostener la membrana plasmática, fijan las proteínas integrales y participan en actividades mecánicas como el transporte de sustancias y orgánulos dentro de las células, el cambio de la forma celular que se produce en las células en división y en las musculares y la adhesión de las células entre sí.

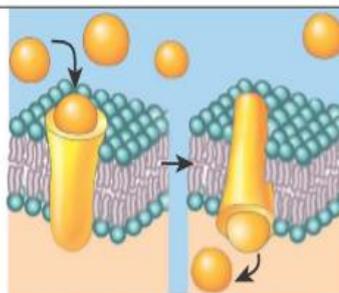
**Figura 3.3** Funciones de las proteínas de membrana.

Las proteínas de membrana reflejan en gran medida las funciones que puede realizar una célula.

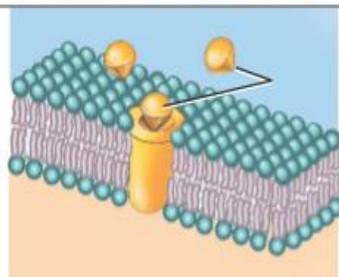
Líquido extracelular
  Membrana plasmática
  Citosol



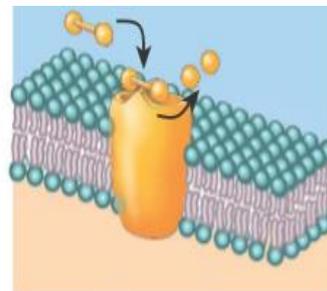
**Canal iónico (integral)**  
Permite el movimiento de iones específicos (o) a través de un poro lleno de agua. La mayor parte de la membrana plasmática posee canales específicos para el pasaje de diversos iones comunes.



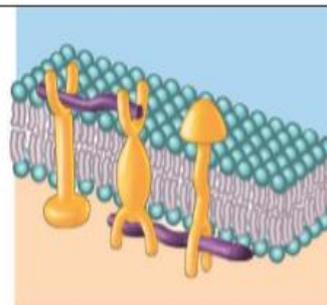
**Transportadora (integral)**  
Transporta sustancias específicas (O) a través de la membrana mediante un cambio en la forma. Por ejemplo, los aminoácidos necesarios para la síntesis de nuevas proteínas ingresan en las células del organismo a través de transportadores.



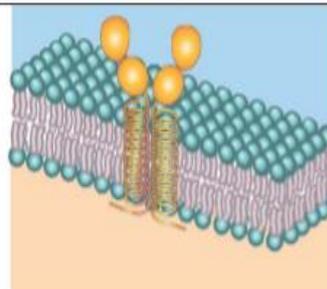
**Receptora (integral)**  
Reconoce ligandos específicos (♥) y altera de algún modo la función de la célula. Por ejemplo, la hormona antidiurética se une con receptores en los riñones y cambia la permeabilidad de ciertas membranas plasmáticas al agua.



**Enzima (Integral y periférica)**  
Cataliza reacciones dentro o fuera de la célula (lo que depende de la dirección que enfrente el sitio activo). Por ejemplo, la lactasa que sobresale de las células epiteliales que tapizan el intestino delgado degrada el disacárido lactosa de la leche.



**Conectora (integral y periférica)**  
Ancla los ligamentos dentro y fuera de la membrana plasmática, lo que proporciona estabilidad estructural y forma a la célula. También puede participar en el movimiento de la célula o conectar dos células entre sí.



**Marcador de identidad celular (glucoproteína)**  
Distingue las células propias de las extrañas (salvo que sean de un gemelo idéntico). Una clase importante de estos marcadores está constituida por las proteínas del complejo mayor de histocompatibilidad (CMH).

## CITOPLASMA

El citoplasma está formado por todos los contenidos celulares entre la membrana plasmática y el núcleo y tiene dos componentes: (1) el citosol y (2) los orgánulos, que son pequeñas estructuras responsables de diferentes funciones en la célula.

### Citosol

El citosol (líquido intracelular) es la porción líquida del citoplasma que rodea a los orgánulos (véase la Figura 3.1) y constituye alrededor del 55% del volumen celular total. A pesar de que su composición y su consistencia varían en los distintos sectores de la célula, entre el 75 y el 90% del citosol está formado por agua, a la que se suman diferentes compuestos disueltos o en suspensión, como por ejemplo diferentes tipos de iones, glucosa, aminoácidos, ácidos grasos, proteínas, lípidos, ATP y productos de desecho, algunos ya mencionados. Ciertas células también presentan diversas moléculas orgánicas que se almacenan agrupadas. Estos agregados pueden aparecer y desaparecer en diferentes fases de la vida de una célula. A modo de ejemplo, se pueden mencionar las gotas de lípido que contienen triglicéridos y los agregados de moléculas de glucógeno denominados gránulos de glucógeno. El citosol es el sitio donde acontecen muchas de las reacciones químicas necesarias para mantener viva a la célula. Por ejemplo, las enzimas del citosol catalizan la glucólisis, una serie de diez reacciones químicas que conducen a la síntesis de dos moléculas de ATP a partir de una molécula de glucosa (véase Figura 25.4). Otros tipos de reacciones citosólicas aportan los materiales de construcción fundamentales para el mantenimiento y el crecimiento de las estructuras celulares. El citoesqueleto es una red de filamentos proteicos que se extiende a través del citosol (véase la Figura 3.1). Tres tipos de filamentos proteicos contribuyen a la estructura del citoesqueleto, y a la de otros orgánulos. En orden creciente de diámetro, estas estructuras son los microfilamentos, los filamentos intermedios y los microtúbulos.

**MICROFILAMENTOS:** Los microfilamentos, los elementos más delgados del citoesqueleto, están compuestos por las proteínas actina y miosina y son más abundantes en la periferia de la célula (Figura 3.15a). Cumplen dos funciones generales: ayudan a generar movimiento y proveen soporte mecánico. En relación con el movimiento, los microfilamentos intervienen en la contracción muscular, la división y la locomoción celular, como la que se produce para la migración de las células embrionarias durante el desarrollo, la invasión de los tejidos por los leucocitos para combatir una infección o la migración de las células cutáneas durante el proceso de cicatrización de las heridas. Los microfilamentos proporcionan la mayor parte del soporte mecánico responsable de la fuerza y la forma de la célula. Estos microfilamentos anclan el citoesqueleto a las proteínas integrales de la membrana plasmática y también proveen soporte mecánico a las extensiones celulares denominadas microvellosidades (micro- = pequeño y -villi = mechones de pelo), que son proyecciones microscópicas digitiformes de la membrana plasmática carentes de movilidad. Dentro de cada microvellosidad hay un núcleo de microfilamentos paralelos que mantiene su estructura. Como aumentan en forma significativa la superficie celular, las microvellosidades son abundantes en las células comprometidas con la absorción, como las células epiteliales que tapizan el intestino delgado.

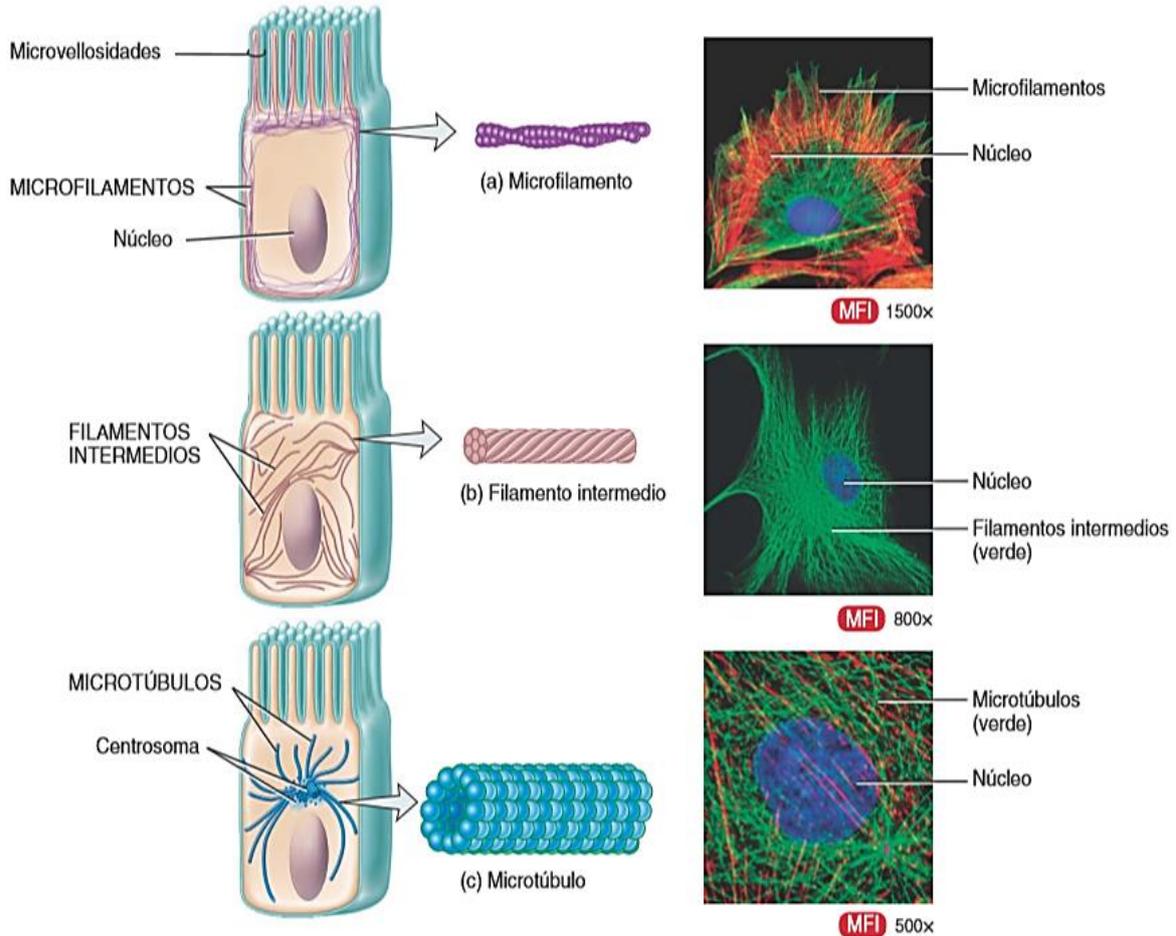
**FILAMENTOS INTERMEDIOS:** Como su nombre lo sugiere, los filamentos intermedios son más gruesos que los microfilamentos pero más delgados que los microtúbulos (Figura 3.15b). Los filamentos intermedios pueden estar compuestos por varias proteínas diferentes, que son muy resistentes. Estos filamentos se localizan en porciones de las células que experimentan tensiones mecánicas, ayudan a fijar la posición de los orgánulos como el núcleo y a adherir las células entre sí.

**MICROTÚBULOS:** Los microtúbulos son los componentes más grandes del citoesqueleto y se presentan como tubos largos y huecos no ramificados formados sobre todo por la proteína tubulina. El ensamblaje de los microtúbulos comienza en un orgánulo denominado centrosoma (que se describirá a continuación). Los microtúbulos proliferan desde el centrosoma hacia la periferia de la célula (Figura 3.15c). Los microtúbulos

contribuyen a la determinación de la forma de la célula y también participan en el movimiento de ciertos orgánulos como las vesículas secretoras, de los cromosomas durante la división celular y de proyecciones celulares especializadas, como los cilios y los flagelos.

**Figura 3.15** Citoesqueleto.

 El citoesqueleto es una red formada por tres tipos de filamentos proteicos: los microfilamentos, los filamentos intermedios y los microtúbulos, que se extienden a través del citoplasma.



## Orgánulos

Como se mencionó, los orgánulos son estructuras especializadas dentro de la célula, que tienen formas características y que llevan a cabo funciones específicas en el crecimiento, el mantenimiento y la reproducción celular. A pesar de la diversidad de reacciones químicas que tienen lugar en una célula en un momento determinado, éstas interfieren muy poco entre sí ya que se desarrollan en diferentes orgánulos. Cada tipo de orgánulo tiene su propio grupo de enzimas que llevan a cabo reacciones específicas y funcionan como unidades compartimentales para procesos bioquímicos determinados. El número y el tipo de orgánulos varían en las diferentes células de acuerdo a la función que cumplen. A pesar de cumplir diferentes funciones, los orgánulos suelen cooperar unos con otros para mantener la homeostasis. Si bien el núcleo es un orgánulo grande, se describirá en una sección separada como consecuencia de su especial importancia en el control del ciclo vital de las células.

## Centrosoma

El centrosoma, localizado cerca del núcleo, tiene dos componentes: un par de centríolos y material pericentriolar (Figura 3.16a). Los dos centríolos son estructuras cilíndricas, cada una compuesta por nueve complejos de tres microtúbulos (tripletes) ordenados en forma circular (Figura 3.16b). El eje longitudinal de uno de los centríolos forma un ángulo recto con el eje longitudinal del otro (Figura 3.16c). Alrededor de los

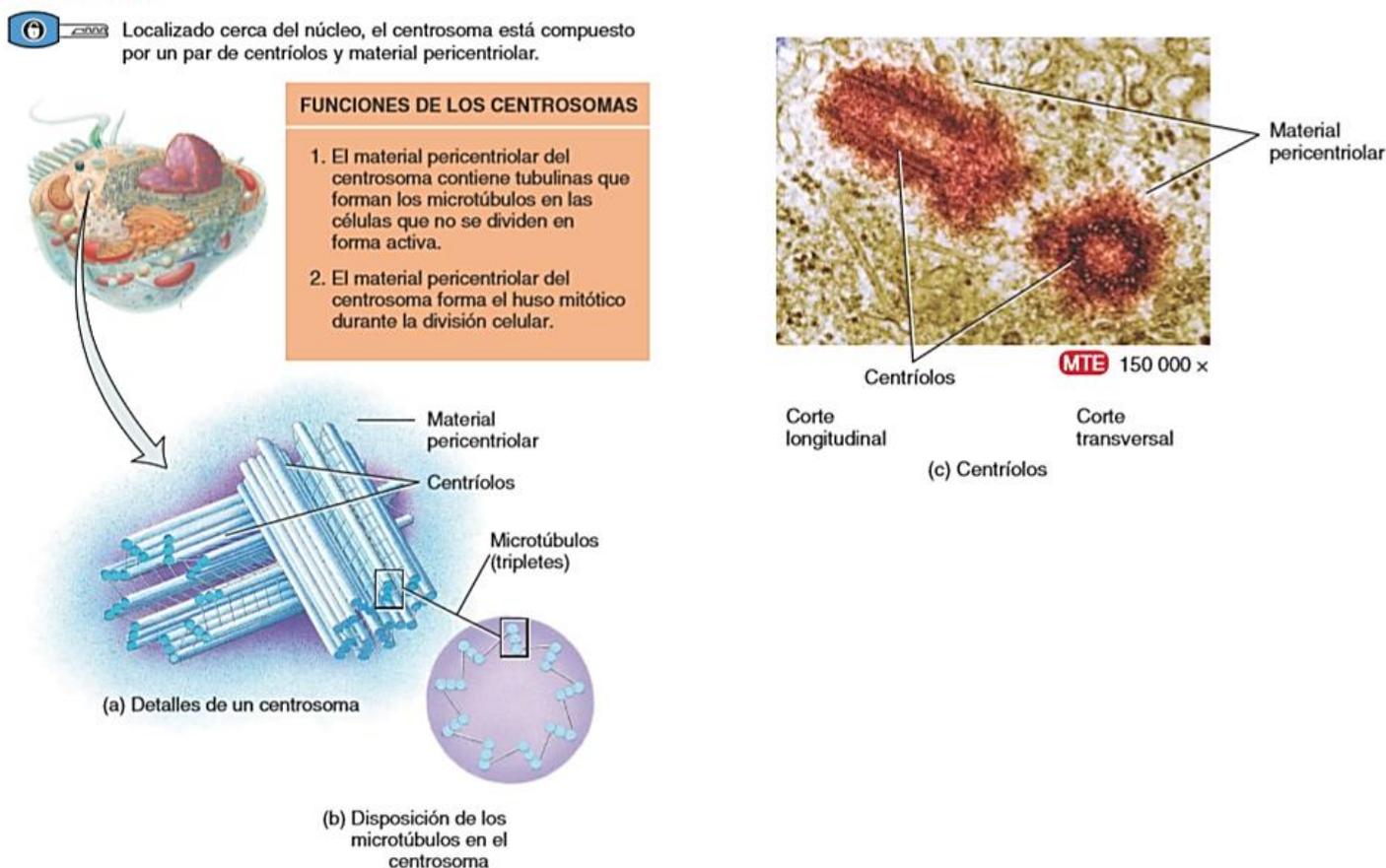
centríolos se encuentra el material pericentriolar, que contiene cientos de complejos anulares formados por la proteína tubulina. Estos complejos de tubulina son los centros que organizan el crecimiento del huso mitótico, estructuras fundamentales para la división celular y también para la formación de los microtúbulos en las células que no están en división activa. Durante la división celular, los centrosomas se replican de manera que las generaciones sucesivas de células conserven la capacidad de dividirse.

### Cilios y flagelos

Los microtúbulos son los componentes predominantes de los cilios y flagelos, que son proyecciones móviles de la superficie celular. Los cilios (de cilium = pestaña) son apéndices numerosos, cortos, piliformes, que se extienden desde la superficie de la célula (véanse las Figuras 3.1 y 3.17b). Cada cilio contiene un núcleo de 20 microtúbulos rodeado por la membrana plasmática (Figura 3.17a). Los microtúbulos están dispuestos de manera tal que un par central queda rodeado por nueve complejos de dos microtúbulos fusionados (dobletes). Cada cilio permanece unido a un cuerpo basal justo debajo de la superficie de la membrana plasmática. Un cuerpo basal posee una estructura similar a un centríolo y participa en el ensamblado inicial de los cilios y los flagelos. Los cilios realizan un movimiento similar al de un remo; su estructura es relativamente rígida durante el impulso (el remo se introduce en el agua), pero es más flexible durante la recuperación (el remo se mueve sobre el agua y se prepara para volver a remar) (Figura 3.17b). Los movimientos coordinados de muchos cilios sobre la superficie de una célula producen un movimiento sostenido del líquido a lo largo de la superficie celular. Por ejemplo, muchas células de las vías respiratorias tienen cientos de cilios que ayudan a barrer las partículas extrañas atrapadas en el moco fuera de los pulmones. En los pacientes con fibrosis quística, la densidad elevada de las secreciones mucosas interfiere sobre la acción de los cilios y, por ende, con las funciones normales de las vías respiratorias.

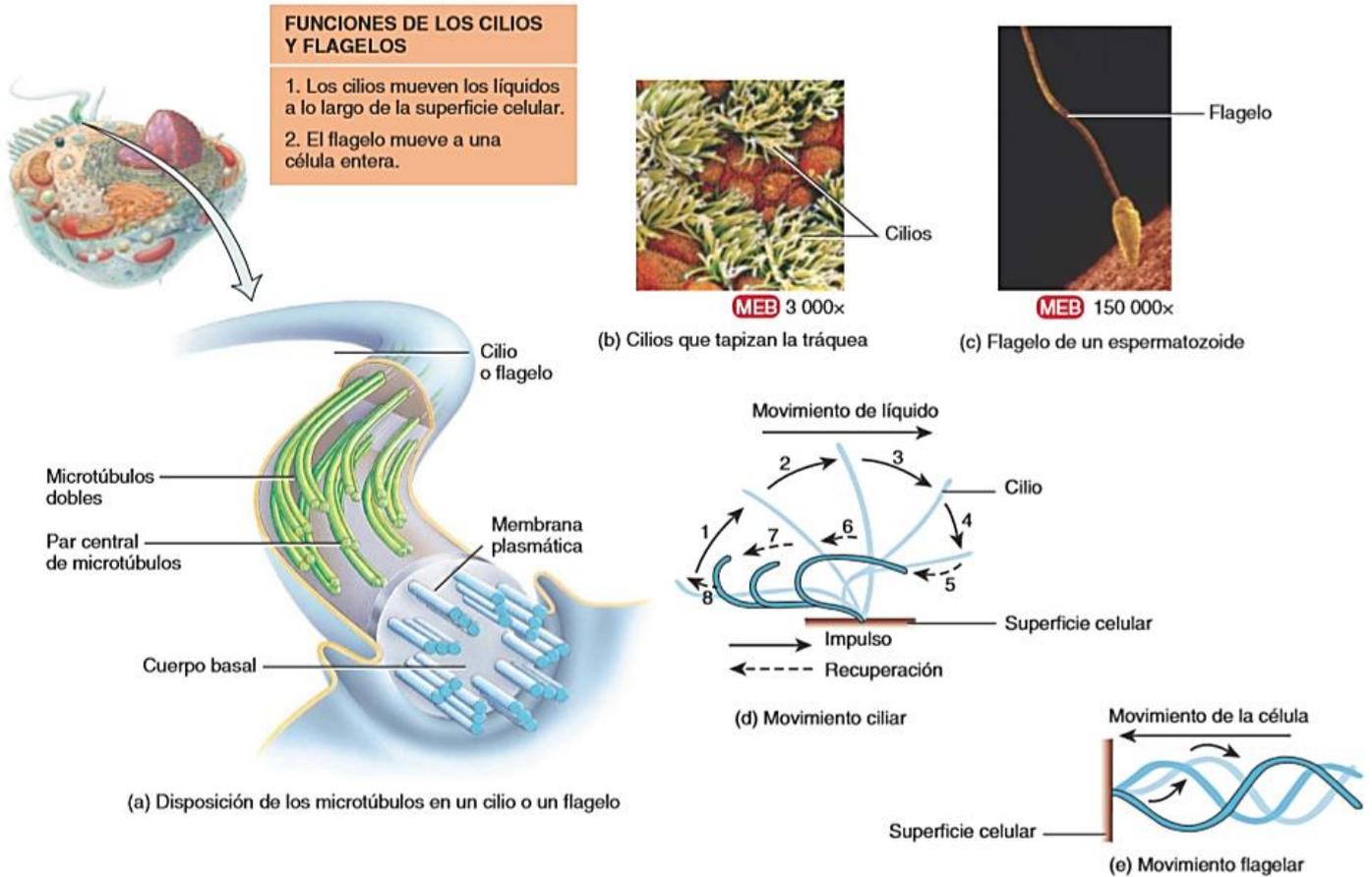
Los flagelos (de flagellum = látigo) tienen una estructura similar a los cilios, pero suelen ser mucho más largos. En general, los flagelos mueven una célula entera. Un flagelo genera un movimiento hacia adelante a lo largo de su eje a través de su desplazamiento rápido en un patrón ondulante (Figura 3.17e). El único ejemplo de flagelo en el cuerpo humano es la cola de los espermatozoides, que propulsa a estas células hacia su encuentro con el ovocito en la trompa uterina (Figura 3.17c).

**Figura 3.16** Centrosoma.



**Figura 3.17** Cilios y flagelos.

Un cilio contiene un núcleo de microtúbulos con un par central rodeado por nueve grupos de microtúbulos dobles.



### Ribosomas

Los ribosomas (-soma = cuerpo) son los sitios donde se sintetizan las proteínas. El nombre de estos pequeños orgánulos refleja su alto contenido de un tipo especial de ácido ribonucleico, el ácido ribonucleico ribosómico (rRNA), aunque también puede contener más de 50 proteínas. La estructura de un ribosoma está constituida por dos subunidades, una de las cuales tiene la mitad del tamaño de la otra (Figura 3.18). Las subunidades mayor y menor se forman por separado en el nucléolo, que es un cuerpo esférico dentro del núcleo. Una vez sintetizadas, las subunidades mayor y menor abandonan el núcleo por separado y se unen en el citoplasma. Algunos ribosomas están adheridos a la superficie externa de la membrana nuclear y a una membrana con gran cantidad de pliegues denominada retículo endoplásmico. Estos ribosomas sintetizan las proteínas destinadas a orgánulos específicos, las que se insertan en la membrana plasmática o salen de la célula. Otros ribosomas son “libres”, o sea que no están adheridos a otras estructuras citoplasmáticas. Los ribosomas libres sintetizan proteínas que serán utilizadas en el citosol. Los ribosomas también se encuentran dentro de las mitocondrias, donde sintetizan proteínas mitocondriales.

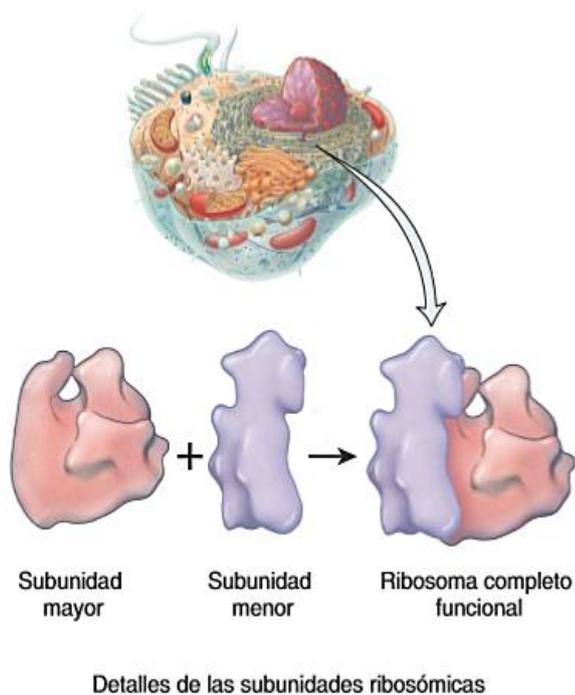
### Retículo endoplásmico

El retículo endoplásmico (de retículo = diminutivo de red y -plasmático = citoplasma) o RE es una red de membranas en forma de sacos aplanados o túbulos (Figura 3.19). El RE se extiende desde la membrana o envoltura nuclear (membrana que rodea al núcleo), con la cual se conecta, a través de todo el citoplasma. El RE es tan amplio que constituye más de la mitad de las superficies membranosas dentro del citoplasma de la mayoría de las células. Las células contienen dos tipos distintos de RE, que difieren tanto en su estructura como en su función. El RE rugoso (RER) se continúa con la membrana nuclear y suele presentar pliegues que forman una serie de sacos aplanados. La superficie externa del RER está cubierta por ribosomas, donde se lleva a cabo la

síntesis proteica. Las proteínas sintetizadas por los ribosomas adheridos al RER penetran en los espacios dentro del RER para su procesamiento y distribución. En algunos casos, ciertas enzimas unen proteínas con hidratos de carbono para formar glucoproteínas. En otros casos, las enzimas unen proteínas con fosfolípidos, también sintetizados en el RER. Estas moléculas (glucoproteínas y fosfolípidos) pueden incorporarse a las membranas de los orgánulos, insertarse en la membrana plasmática o secretarse por exocitosis. En consecuencia, el RER produce proteínas secretoras, proteínas de membrana y numerosas proteínas de los orgánulos. El RE liso (REL) se extiende desde el RE rugoso para formar una red de túbulos membranosos (Figura 3.19). A diferencia del RER, el REL carece de ribosomas en la superficie externa de sus membranas. Sin embargo, contiene enzimas especiales que determinan que su diversidad funcional sea mayor que la del RER. La ausencia de ribosomas impide la síntesis de proteínas, pero no la de ácidos grasos y esteroides, como estrógenos y testosterona. En los hepatocitos, las enzimas del REL facilitan la liberación de la glucosa hacia la corriente sanguínea y contribuyen a inactivar o detoxificar los fármacos liposolubles o las sustancias potencialmente nocivas, como el alcohol, los pesticidas y los carcinógenos (agentes que producen cáncer). En las células del hígado, los riñones y el intestino una enzima del REL elimina el grupo fosfato de la glucosa-6-fosfato, lo que permite que se “libere” la glucosa y pueda ingresar en la sangre. En las células musculares, los iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) que estimulan la contracción se liberan del retículo sarcoplásmico, que representa una variación del REL.

**Figura 3.18** Ribosomas.

Los ribosomas son los sitios donde se sintetizan las proteínas.

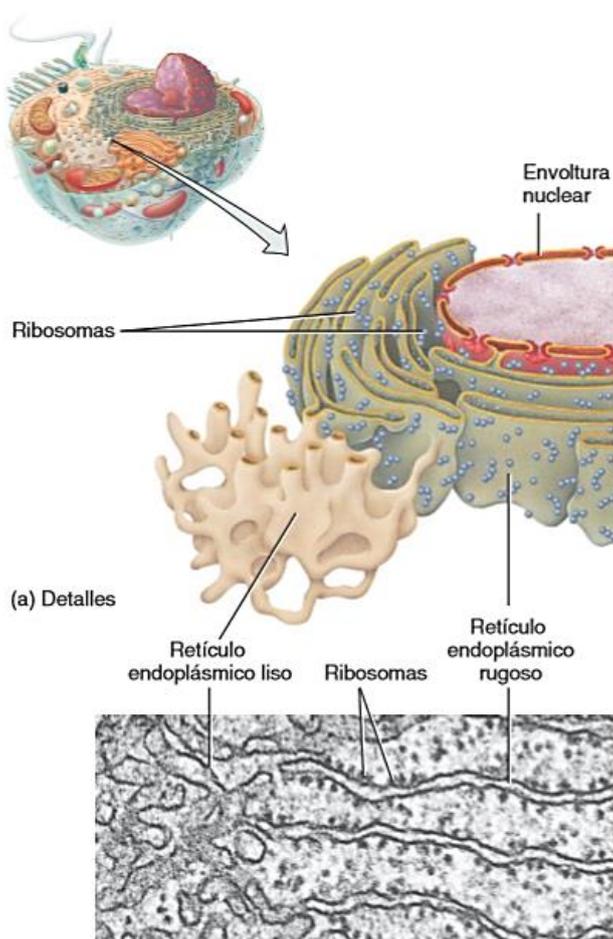


**FUNCIONES DE LOS RIBOSOMAS**

1. Los ribosomas asociados con el retículo endoplásmico sintetizan proteínas destinadas a insertarse en la membrana plasmática o a secretarse hacia el exterior de la célula.
2. Los ribosomas libres sintetizan proteínas que se utilizan en el citosol.

**Figura 3.19** Retículo endoplásmico.

El retículo endoplásmico es una red de sacos o túbulos rodeados por membrana que se extiende a través del citoplasma y se conecta con la membrana nuclear.



## Aparato de Golgi

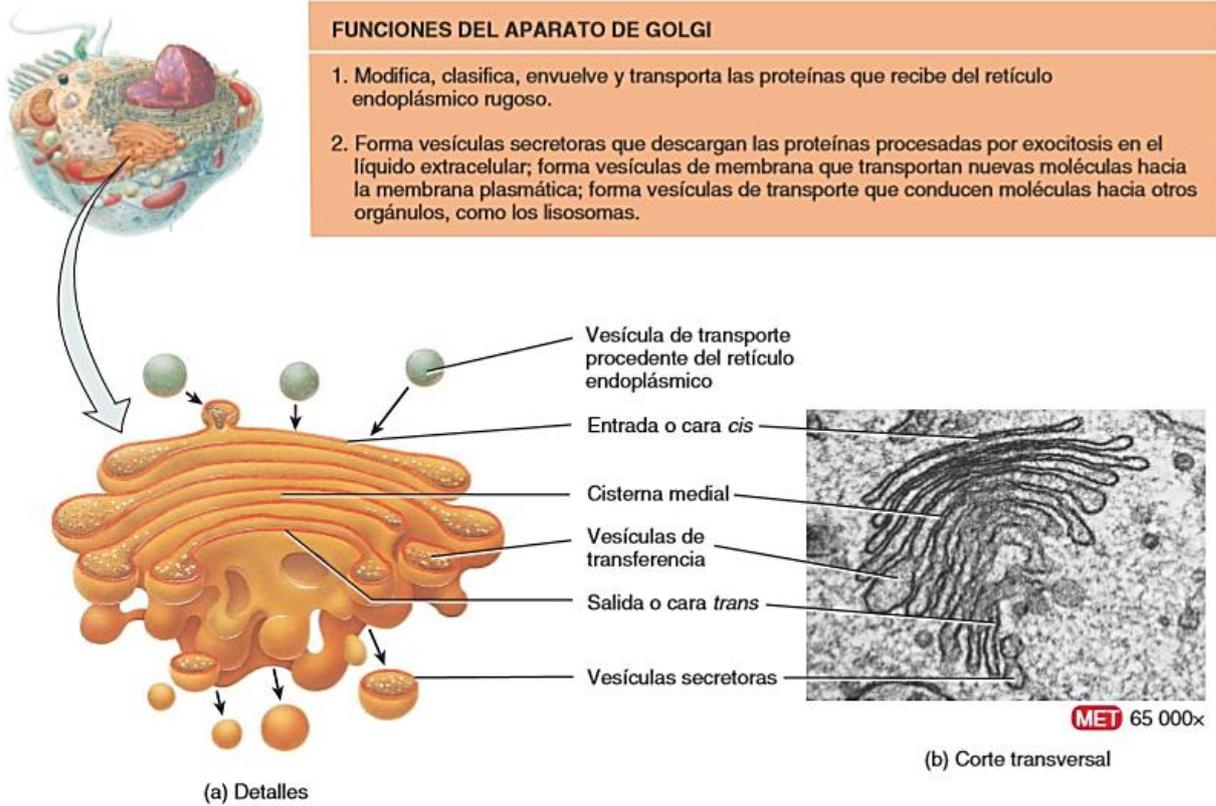
La mayor parte de las proteínas sintetizadas en los ribosomas adheridos al RER se transfieren a otras regiones de la célula. El primer paso en la vía de transporte es el pasaje a través de un orgánulo denominado aparato de Golgi, formado por 3 a 20 cisternas (cavidades), o sea pequeños sacos membranosos aplanados de bordes salientes que se asemejan a una pila de pitas (pan árabe) (Figura 3.20). Las cisternas suelen ser curvas, lo que le da al aparato de Golgi un aspecto cupuliforme. Casi todas las células tienen varios complejos de Golgi, que son más numerosos en las células que secretan proteínas, lo que ofrece una clave para comprender el papel de este orgánulo en la célula. Las cisternas en los extremos opuestos de un aparato de Golgi presentan diferencias en su forma, su tamaño y su actividad enzimática. La entrada convexa o cara cis, es una cisterna ubicada frente al RER. La salida cóncava o cara trans es una cisterna orientada hacia la membrana plasmática. Los sacos entre las caras de entrada y salida se denominan cisternas mediales. Las vesículas de transporte (que se describirán más adelante) provenientes del RE se fusionan para formar la cara de entrada. Se cree que las cisternas maduran desde la cara de entrada para convertirse en cisternas mediales y luego en cisternas de salida. Las diferentes enzimas presentes en las regiones de entrada, medial y de salida del aparato de Golgi permiten que cada una de estas áreas modifique, ordene y envuelva las proteínas en vesículas para su transporte hacia diferentes destinos. La cara de entrada recibe y modifica las proteínas sintetizadas en el RER. Las cisternas mediales agregan hidratos de carbono a las proteínas para formar glucoproteínas y lípidos para formar lipoproteínas. La cara de salida modifica las moléculas en forma adicional y luego las selecciona y envuelve para transportarlas hacia su destino final. Las proteínas que llegan al aparato de Golgi, lo atraviesan y salen de él gracias a la maduración de las cisternas y los intercambios que ocurren por medio de las vesículas de transferencia (Figura 3.21):

- 1 Las proteínas sintetizadas por los ribosomas sobre el RER se envuelven dentro de una porción de la membrana del RE, que luego se separa de la superficie de la membrana para formar una vesícula de transporte.
- 2 Las vesículas de transporte se dirigen hacia la cara de entrada del aparato de Golgi.
- 3 La fusión de varias vesículas de transporte crea la cara de entrada del aparato de Golgi y libera proteínas dentro de su luz (espacio).
- 4 Las proteínas se mueven desde la cara de entrada hacia una o más cisternas mediales. Las enzimas presentes en estas cisternas modifican las proteínas para formar glucoproteínas, glucolípidos y lipoproteínas. Las vesículas de transferencia que surgen de los bordes de las cisternas llevan enzimas específicas de regreso a la cara de entrada y transportan algunas proteínas modificadas en forma parcial hacia la cara de salida.
- 5 Los productos de las cisternas mediales se mueven hacia la luz de la cara de salida.
- 6 Dentro de las cisternas de la cara de salida, los productos experimentan más modificaciones, se clasifican y se envuelven.
- 7 Algunas de las proteínas procesadas abandonan la cara de salida y quedan almacenadas en vesículas secretoras, que son las responsables de llevar las proteínas hacia la membrana plasmática, donde se liberan por exocitosis hacia el líquido extracelular. Por ejemplo, algunas células pancreáticas liberan la hormona insulina de esta manera.
- 8 Otras proteínas procesadas abandonan la cara de salida en vesículas de membrana que entregan su contenido a la membrana plasmática para su incorporación dentro de ella. De esta manera, el aparato de Golgi agrega nuevos segmentos a la membrana plasmática a medida que los preexistentes se pierden y modifica el número y la distribución de las moléculas de la membrana.

9 Por último, algunas proteínas procesadas abandonan la cara de salida en vesículas de transporte que las trasladan hacia otro destino en la célula. Por ejemplo, las vesículas de transporte conducen a las enzimas digestivas hacia los lisosomas. La estructura y la función de estos orgánulos importantes se analizarán a continuación.

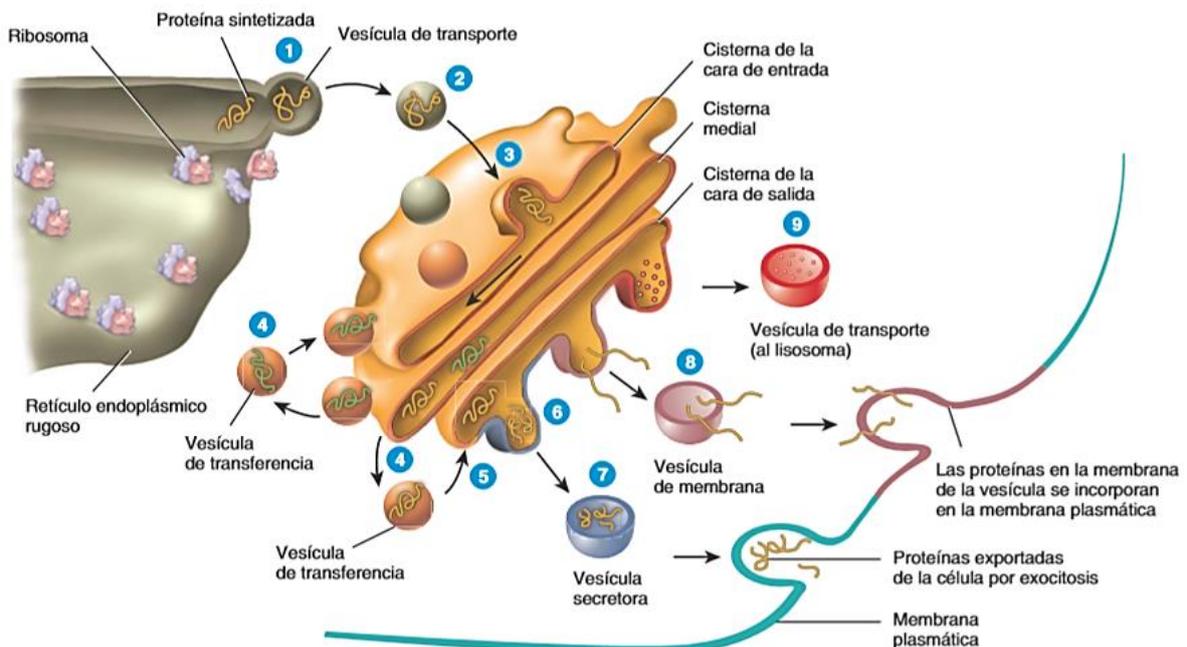
**Figura 3.20** Aparato de Golgi.

**i** Las caras opuestas del aparato de Golgi poseen diferentes tamaños, formas, contenidos y actividades enzimáticas.



**Figura 3.21** Procesamiento y envoltura de las proteínas en el aparato de Golgi.

**i** Todas las proteínas que se exportan de la célula se procesan en el aparato de Golgi.



## Lisosomas

Los lisosomas (ly'sis- = disolución y -soma = cuerpo) son vesículas rodeadas por membranas que se forman en el aparato de Golgi (Figura 3.22). En su interior pueden contener más de 60 tipos de poderosas enzimas digestivas e hidrolíticas que pueden digerir una gran variedad de moléculas una vez que los lisosomas se fusionaron con las vesículas formadas durante la endocitosis. Como las enzimas lisosómicas funcionan mejor a pH ácido, la membrana lisosómica contiene bombas de transporte activo que importan iones hidrógeno ( $H^+$ ). De esta manera, el interior de los lisosomas tiene un pH de 5, o sea 100 veces más ácido que el pH del citosol (pH 7). La membrana lisosómica también posee transportadores que trasladan los productos finales de la digestión, como la glucosa, los ácidos grasos y los aminoácidos, hacia el citosol.

Las enzimas lisosómicas también contribuyen al reciclado de las estructuras celulares deterioradas. Un lisosoma puede ingerir otro orgánulo, digerirlo y luego devolver los componentes al citosol para su reutilización, de esta manera los orgánulos maduros son continuamente remplazados. Este proceso se denomina autofagia (autós- = sí mismo y -phagéin = comer). Durante la autofagia, el orgánulo que se va a digerir queda rodeado por una membrana procedente del RE y se forma una vesícula denominada autofagosoma, que luego se fusiona a su vez con un lisosoma. De esta manera, por ejemplo, un hepatocito humano recicla alrededor de la mitad de su contenido citoplasmático por semana. La autofagia también está involucrada en la diferenciación celular, el control del crecimiento, la remodelación de tejidos, la adaptación a ambientes adversos y la defensa de la célula. Las enzimas lisosómicas también pueden destruir toda la célula que las contiene mediante el proceso de autólisis, que se identifica en algunas situaciones patológicas y también es responsable del deterioro de los tejidos que ocurre inmediatamente después de la muerte. Como recién se describió, la mayor parte de las enzimas lisosómicas actúa dentro de la célula. Sin embargo, algunas participan en la digestión extracelular. Un ejemplo se observa durante la fecundación. La cabeza del espermatozoide libera enzimas lisosómicas que lo ayudan a introducirse en el ovocito a través de la disolución de su cubierta protectora mediante un proceso denominado reacción acrosómica (véase la Sección 29.1).

**Figura 3.22** Lisosomas.

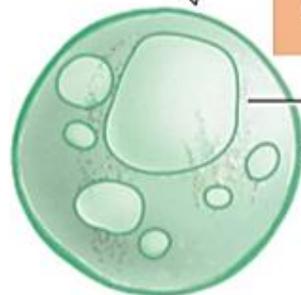


Los lisosomas contienen varios tipos de poderosas enzimas digestivas.



### FUNCIONES DE LOS LISOSOMAS

1. Digeren las sustancias que entran en la célula por endocitosis y transportan los productos finales de la digestión al citosol.
2. Llevan a cabo la autofagia, que es la digestión de los orgánulos deteriorados.
3. Implementan la autólisis, que es la digestión de una célula entera.
4. Son responsables de la digestión extracelular.



Enzimas digestivas

(a) Lisosoma

## Peroxisomas

Otro grupo de orgánulos con estructura similar a los lisosomas pero más pequeños son los peroxisomas (peroxi- = peróxido y -some(s) = cuerpo; véase la Figura 3.1). Los peroxisomas, también conocidos como microcuerpos, contienen varias oxidasas, que son enzimas capaces de oxidar (eliminar átomos de hidrógeno) diversas sustancias orgánicas. Por ejemplo, los aminoácidos y los ácidos grasos pueden oxidarse en los peroxisomas como parte del metabolismo normal. Asimismo, las enzimas de los peroxisomas oxidan sustancias tóxicas como el alcohol. Debido a esta razón los peroxisomas son muy abundantes en el hígado, donde tiene lugar la detoxificación del alcohol y otras sustancias nocivas. Un producto intermedio de las reacciones de oxidación es el peróxido de hidrógeno ( $H_2O_2$ ), un compuesto potencialmente tóxico, además de radicales libres asociados como superóxido. Sin embargo, los peroxisomas también contienen la enzima catalasa, que descompone el  $H_2O_2$ . Como la producción y la degradación del  $H_2O_2$  tienen lugar dentro del mismo orgánulo, los peroxisomas protegen a otras partes de la célula de los efectos tóxicos del  $H_2O_2$ . Los peroxisomas también tienen enzimas que destruyen al superóxido. Sin peroxisomas, los productos intermedios del metabolismo podrían acumularse dentro de la célula y provocar su muerte. Los peroxisomas pueden autorreplicarse. También se pueden crear peroxisomas nuevos a partir de los ya existentes a través de su crecimiento y su división. Asimismo se pueden formar a través de un proceso que consiste en la acumulación de componentes en un sitio determinado de la célula y su ensamblaje para formar un peroxisoma.

## Mitocondrias

Como las mitocondrias (mítos = hilo y khóndrion = gránulo) generan la mayor parte del ATP a través de la respiración aeróbica (que requiere oxígeno), se dice que son las “centrales de energía” de las células. Una célula puede tener desde cientos hasta varios miles de mitocondrias de acuerdo a su actividad. Las células activas, como las de los músculos, el hígado y los riñones, que utilizan ATP a gran velocidad, tienen un número elevado de mitocondrias. Por ejemplo, el ejercicio regular puede aumentar el número de mitocondrias en las células musculares, lo que permite que éstas funcionen con mayor eficiencia. Las mitocondrias suelen localizarse en los sitios donde el oxígeno ingresa a la célula o donde se usa ATP, como por ejemplo entre las proteínas contráctiles de las células musculares. Una mitocondria está constituida por una membrana mitocondrial externa y una membrana mitocondrial interna, con un pequeño espacio lleno de líquido entre ambas (Figura 3.23). Las dos membranas tienen una estructura similar a la membrana plasmática. La membrana mitocondrial interna contiene una serie de pliegues denominados crestas mitocondriales. La cavidad central llena de líquido de la mitocondria, delimitada por la membrana interna, es la matriz. Los complejos pliegues de las crestas proporcionan una superficie extensa para las reacciones químicas que intervienen en la fase aeróbica de la respiración celular, o sea las reacciones que producen la mayor parte del ATP de la célula.

Las enzimas que catalizan estas reacciones están situadas en las crestas y en la matriz mitocondrial. Las mitocondrias también cumplen una función importante y temprana en la apoptosis, que es la muerte programada de la célula, un proceso ordenado y programado por la información genética. En respuesta a ciertos estímulos como un gran número de radicales libres destructores, la lesión del DNA, la privación de factor de crecimiento o de oxígeno y nutrientes, las mitocondrias liberan ciertos compuestos químicos tras formar un poro en la membrana mitocondrial externa. Uno de los compuestos químicos liberados hacia el citosol de la célula es el citocromo c, que mientras permanece dentro de la mitocondria participa en la respiración celular aeróbica. En el citosol, no obstante, el citocromo c y otras sustancias inician una cascada de activación de enzimas que digieren proteínas y desencadenan la apoptosis. Al igual que los peroxisomas, las mitocondrias se autorreplican, proceso que tiene lugar durante los intervalos de aumento de la demanda energética por parte de la célula o antes de su división. La síntesis de algunas de las proteínas necesarias para el funcionamiento mitocondrial se produce en los ribosomas de la matriz mitocondrial. Las mitocondrias tienen incluso su propio DNA, que se caracteriza por múltiples copias de moléculas de DNA circular con 37 genes. Estos genes mitocondriales controlan la síntesis de 2 RNA ribosómicos, 22 RNA de transferencia y 13 proteínas que

constituyen los componentes mitocondriales. Aunque el núcleo de cada célula somática contiene genes tanto del padre como de la madre, los genes mitocondriales se heredan sólo de la madre. Esto se debe al hecho de que todas las mitocondrias en una célula son descendientes de las que estaban en el ovocito durante el proceso de fertilización. La cabeza del espermatozoide (la parte que penetra y fecunda a un ovocito) carece en condiciones normales de la mayoría de los orgánulos, como mitocondrias, ribosomas, retículo endoplásmico y aparato de Golgi, y todas las mitocondrias del espermatozoide que pudieran penetrar en el óvulo se destruyen de inmediato. Como todos los genes mitocondriales se heredan de la madre, el DNA mitocondrial se puede utilizar para rastrear el linaje materno (o sea, para determinar si dos o más individuos están relacionados a través del lado materno de la familia).

**Figura 3.23** Mitocondria.

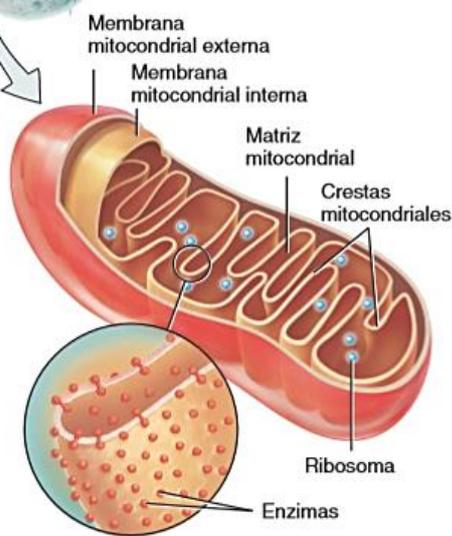


Dentro de la mitocondria, las reacciones químicas que constituyen la respiración celular aeróbica generan ATP.



**FUNCIONES DE LA MITOCONDRIA**

1. Genera ATP a través de las reacciones químicas de la respiración celular aeróbica.
2. Cumple un papel importante y temprano en la apoptosis.



(a) Detalles



(b) Corte transversal

**?** ¿Cómo contribuyen las crestas mitocondriales a la producción de ATP?

**EL NÚCLEO**

El núcleo es una estructura esférica u ovalada que en general corresponde al elemento más prominente de una célula (Figura 3.24). La mayoría de las células tiene un solo núcleo, aunque algunas células, como los eritrocitos maduros, carecen de él. En cambio, las células musculares esqueléticas y algunos otros tipos celulares tienen múltiples núcleos. El núcleo está separado del citoplasma por una doble membrana denominada envoltura o membrana nuclear. Las dos capas de la membrana nuclear son bicapas lipídicas similares a las de la membrana plasmática. La membrana externa de la envoltura nuclear se continúa con el RER y se asemeja a éste en su estructura. A lo largo de la membrana nuclear, hay muchos orificios llamados poros nucleares que la atraviesan. Cada poro nuclear consiste en un grupo de proteínas dispuestas en forma circular que rodea una gran abertura central que es aproximadamente 10 veces más ancha que la del poro de una proteína de canal de la membrana plasmática. Los poros nucleares controlan el movimiento de las sustancias entre el núcleo y el citoplasma.

Las moléculas pequeñas junto con los iones se mueven a través de los poros por difusión pasiva. Las moléculas más grandes, como el RNA y las proteínas, no pueden atravesar los poros nucleares por difusión. En cambio, su pasaje involucra un proceso de transporte activo con reconocimiento de las moléculas y transporte selectivo de ellas a través del poro hacia el interior o el exterior del núcleo. Por ejemplo, las proteínas necesarias para las funciones nucleares se desplazan desde el citosol hacia el núcleo y las moléculas de RNA recién formadas se dirigen desde el núcleo hacia el citosol de esta manera.

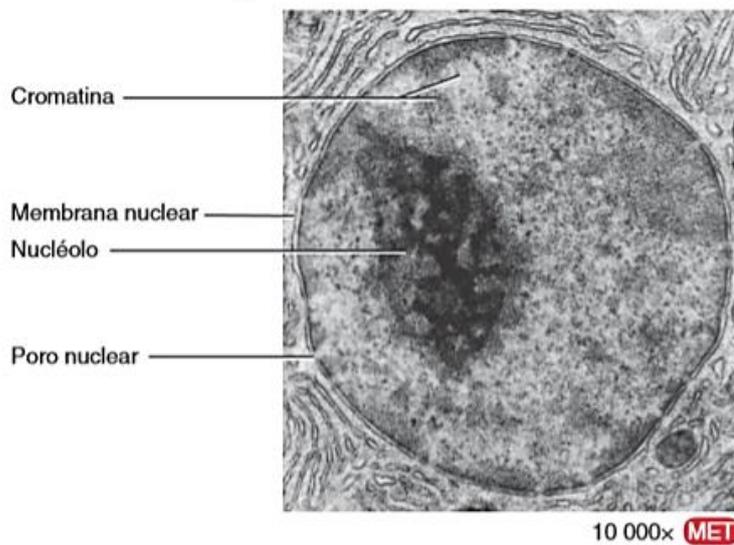
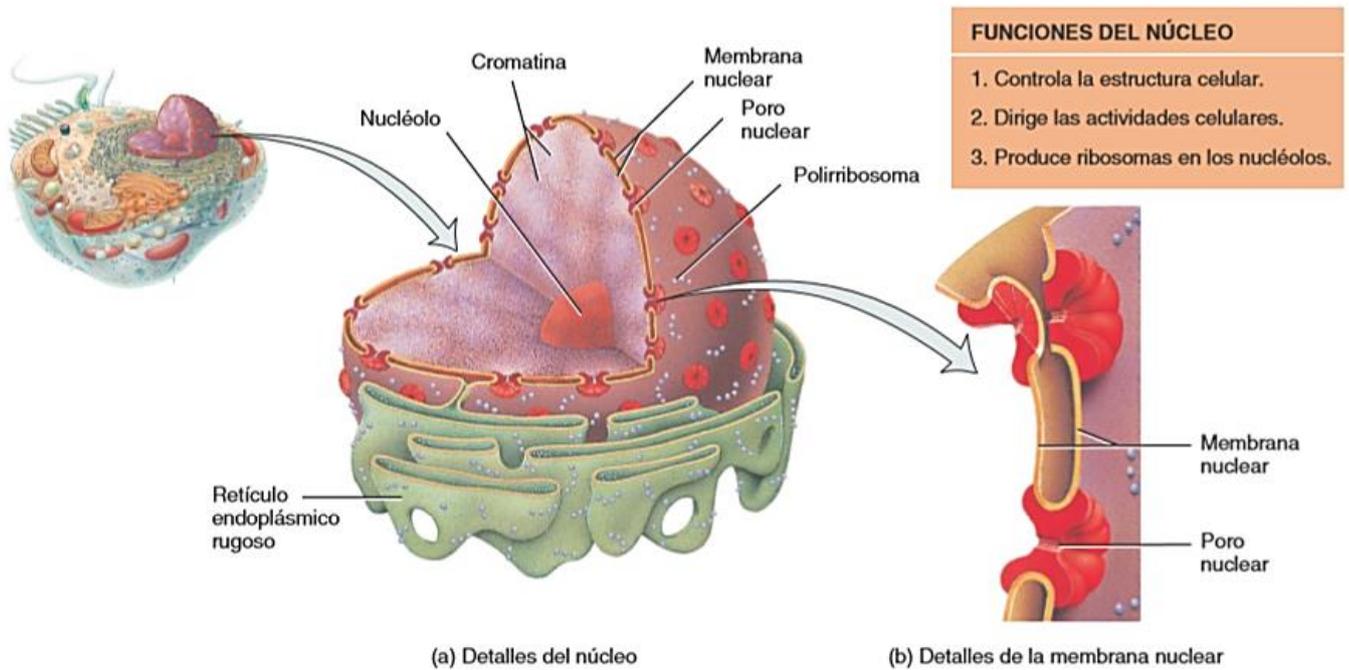
El núcleo contiene uno o más cuerpos esféricos denominados nucléolos, que participan en la síntesis de los ribosomas. Cada nucléolo sólo está compuesto por proteínas, DNA y RNA y no está rodeado por una membrana. Los nucléolos son los sitios donde se sintetiza el rRNA y donde se ensambla con las proteínas en subunidades ribosómicas. Los nucléolos son muy prominentes en las células que sintetizan grandes cantidades de proteínas, como las células musculares y los hepatocitos. Los nucléolos se dispersan y desaparecen durante la división celular y se reorganizan una vez que se formaron las nuevas células. Dentro del núcleo se encuentra la mayor parte de las unidades hereditarias de la célula, o sea los genes, que controlan la estructura celular y dirigen las actividades de la célula. Los genes se organizan a lo largo de los cromosomas (khróoma- = coloreado). Las células somáticas (corporales) humanas tienen 46 cromosomas, 23 heredados de cada uno de los padres. Cada cromosoma es una molécula larga de DNA enrollada junto con varias proteínas (Figura 3.25). Este complejo de DNA, proteínas y algo de RNA se denomina cromatina.

Toda la información genética contenida en una célula o un organismo constituye su genoma. En las células que no están en división, la cromatina se observa como una masa granular difusa. Las microfotografías electrónicas revelan que la cromatina tiene una estructura en cuentas de collar. Cada cuenta es un nucleosoma y está formado por DNA bicatenario (cadena doble de DNA) que se enrolla dos veces alrededor de un núcleo de ocho proteínas denominadas histonas, que contribuyen a organizar el enrollamiento y el plegamiento del DNA.

La cuerda entre las cuentas es el DNA conector que mantiene unidos a los nucleosomas adyacentes. En las células que no están en división, otra histona promueve el enrollamiento de los nucleosomas en fibras de cromatina, que poseen mayor diámetro, y luego se pliegan en grandes hélices. Sin embargo, justo antes de que se produzca la división celular, el DNA se replica (duplica), la cromatina se condensa aún más y se forma un par de cromátides. Como se describirá más adelante, durante la división celular, un par de cromátides constituye un cromosoma.

## Figura 3.24 El núcleo.

 El núcleo contiene la mayor parte de los genes de la célula, que se localizan en los cromosomas.



(c) Corte transversal del núcleo

## BIBLIOGRAFIA

PRINCIPIOS DE ANATOMIA Y FISILOGIA, TORTORA DERRICKSON, 13ª. EDICION.