



## El nivel celular de organización

### Las células y la homeostasis

Alrededor de 200 tipos de células especializadas llevan a cabo múltiples funciones para que cada sistema contribuya a la homeostasis de todo el organismo. Al mismo tiempo, todas las células comparten estructuras clave y funciones que les permiten sobrellevar su actividad intensa.





En el capítulo anterior se explicó que los átomos y moléculas constituyen el alfabeto del lenguaje del cuerpo humano. Se combinan en alrededor de 200 "palabras" que se denominan **células**: unidades estructurales y funcionales vivientes rodeadas por una membrana. Todas las células se forman a partir de células preexistentes por un proceso que se denomina **división celular**, en el cual una célula se divide en dos células idénticas. Cada tipo de célula cumple un papel particular para mantener la homeostasis y contribuye a las diversas funciones del organismo

humano. La **biología celular** es el estudio de las estructuras y funciones de las células. A medida que se estudien los distintos orgánulos de una célula y la relación que existe entre éstos, se comprenderá que la estructura y las funciones celulares están íntimamente relacionadas. En este capítulo, se verá que las células llevan a cabo una sorprendente cantidad de reacciones químicas para crear y sostener el proceso de la vida, en parte, aislando algunos tipos específicos de reacciones químicas dentro de estructuras celulares especializadas.

## PARTES DE LA CÉLULA

### ▶ OBJETIVO

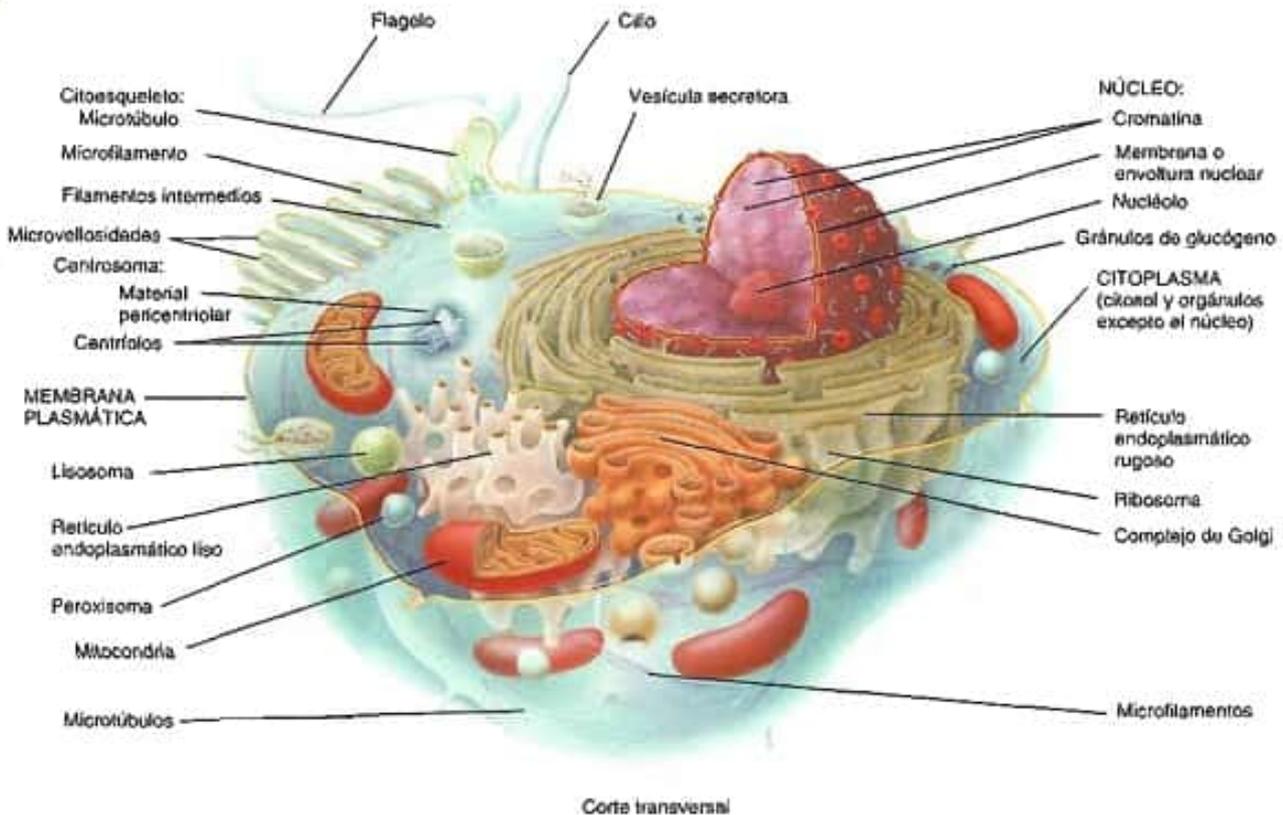
Nombrar y describir las tres partes principales de una célula.

En la **figura 3-1** se ofrece una visión general de las estructuras que se encuentran en una célula del organismo. La mayoría de las células tienen muchas de las estructuras que se muestran en este diagrama, pero ninguna célula contiene a todas. Para facilitar el aprendizaje, se divide a la célula en tres partes principales: la membrana plasmática, el citoplasma y el núcleo.

- La **membrana plasmática** forma la superficie flexible externa de la célula y separa su medio interno del medio externo. Es una barrera selectiva que regula el paso de sustancias 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.
- El **citoplasma** (cito-, de *kýtos*, célula, y -plasma, de *plásma*, modelado) abarca todos los componentes de la célula que se encuentran entre la membrana plasmática y el núcleo. Este com-

**Fig. 3-1** Estructuras típicas del cuerpo de las células.

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



Corta transversal

¿Cuáles son las tres partes principales de una célula?

partimento está formado por el citosol y los orgánulos. El **citosol** es la porción líquida del citoplasma y contiene agua, solutos disueltos y partículas en suspensión. Rodeados por el citosol se encuentran diferentes tipos de **orgánulos**. Cada uno tiene una forma característica y una función específica. Algunos ejemplos son el citoesqueleto, los ribosomas, el retículo endoplasmático, el complejo de Golgi, los lisosomas, los peroxisomas y las mitocondrias.

- El **núcleo** es un orgánulo grande que alberga a la mayor parte del ADN de la célula. Dentro del núcleo, cada **cromosoma** (cromo-, de *khróoma*, color, y -soma, de *sóoma*, cuerpo), una molécula única de ADN asociada con varias proteínas, contiene miles de unidades hereditarias denominadas **genes** que controlan casi todos los aspectos relacionados con la estructura y la función celulares.

### ► PREGUNTAS DE REVISIÓN

1. Nombre las tres partes principales de una célula y explique sus funciones respectivas.

## MEMBRANA PLASMÁTICA

### ► OBJETIVOS

Describir la estructura y las funciones de la membrana plasmática.

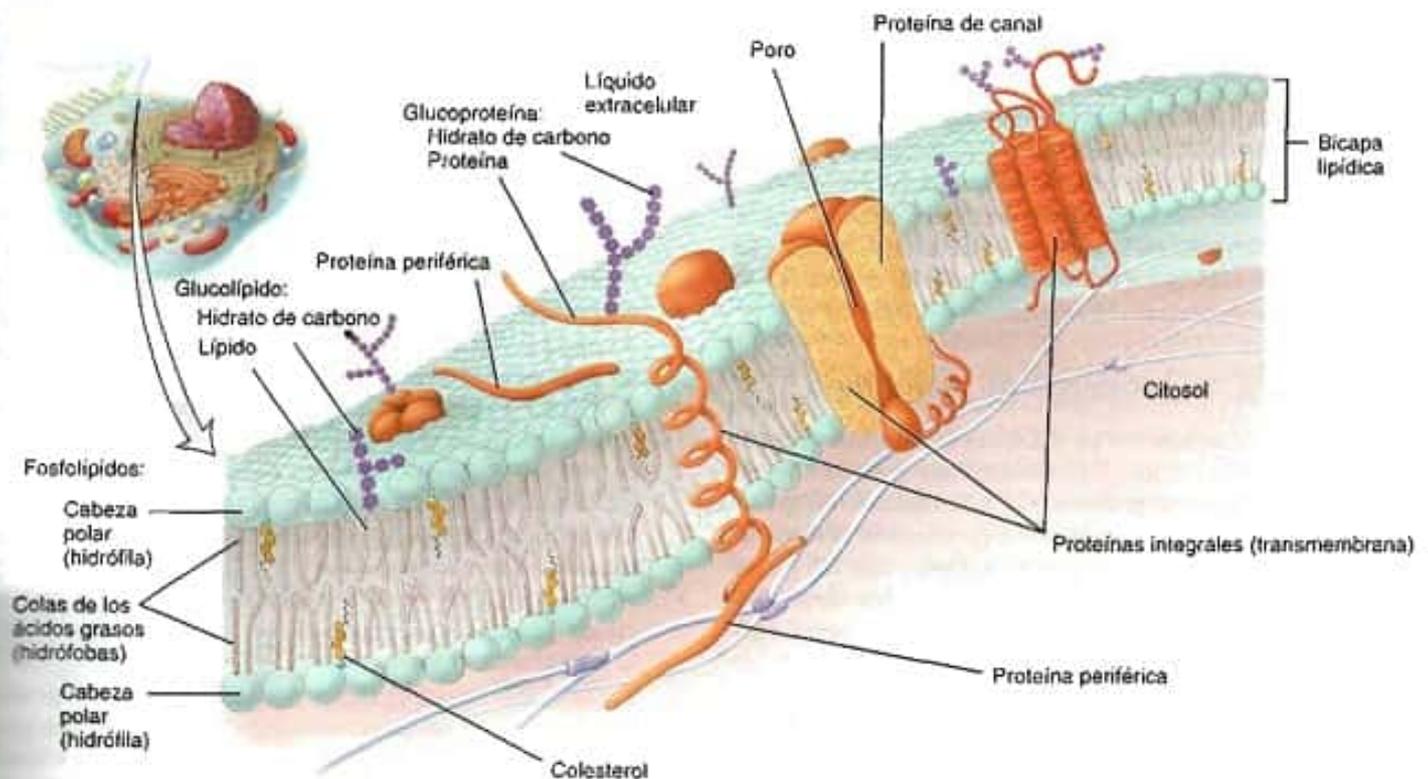
Explicar el concepto de permeabilidad selectiva.

Definir el gradiente electroquímico y describir sus componentes.

La **membrana plasmática**, una barrera flexible pero a la vez resistente que rodea al citoplasma de la célula, se describe mejor recurriendo a un modelo estructural denominado *mosaico fluido*. De acuerdo con este concepto, el ordenamiento molecular de la membrana plasmática se asemeja a un mar de lípidos que está en constante movimiento y contiene un mosaico de proteínas diferentes (fig. 3-2). Algunas proteínas flotan libremente como si fueran un iceberg en ese mar de lípidos, mientras que otras están fijas en localizaciones específicas, como las embarcaciones en un puerto. Los lípidos de la membrana permiten el paso de diversas moléculas liposolubles, pero actúan como una barrera para la entrada o salida de sustancias con carga eléctrica o polares. Algunas de las proteínas presentes en la membrana plasmática

Fig. 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 en su propia mitad de la bicapa.



¿Qué es el glucocáliz?

ca permiten el desplazamiento de las moléculas polares y de los iones hacia adentro y hacia afuera de la célula. Otras proteínas pueden actuar como receptores de señales o moléculas de adhesión.

## La bicapa lipídica

El marco estructural básico de la membrana plasmática es la **bicapa lipídica**, dos capas adosadas y formadas por tres tipos de moléculas: fosfolípidos, colesterol y glucolípidos (fig. 3-2). Alrededor del 75% de los lípidos de la membrana son **fosfolípidos**, lípidos que contienen grupos fosfato. Presentes en una cantidad menor, se encuentran el **colesterol** (alrededor del 20%), un esteroide con un grupo -OH (hidroxilo) y varios tipos de glucolípidos (alrededor del 5%), lípidos unidos a grupos de hidratos de carbono.

La disposición en bicapa se produce porque los lípidos son moléculas **anfipáticas**, lo cual significa que tienen tanto partes polares como no polares. En los fosfolípidos (véase fig. 2-18), el segmento polar es el fosfato y contiene la "cabeza", que es **hidrófila**. Los segmentos no polares están formados por dos "colas" de ácidos grasos, que son cadenas hidrocarbonadas **hidrófobas**. Como los "similares se buscan entre sí", las moléculas de fosfolípidos se orientan en la membrana plasmática con sus cabezas hidrófobas hacia el exterior. De tal forma, las cabezas enfrentan al líquido acuoso situado a ambos lados de la membrana: el citosol en el interior y el líquido extracelular en el exterior. Las cadenas hidrófobas de ácidos grasos presentes en cada mitad de la bicapa se enfrentan una a una y forman una región no polar, **hidrófoba**, en el interior de la membrana.

Las moléculas de colesterol son débilmente anfipáticas (véase fig. 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. El anillo esteroide rígido y la cola hidrocarbonada del colesterol son no polares, y se hallan entre las colas de ácidos grasos de los fosfolípidos y glucolípidos. Los grupos de hidrato de carbono de los glucolípidos forman una "cabeza" polar; sus "colas" de ácidos grasos son no polares. Los glucolípidos aparecen solo en la capa de la membrana celular que está en contacto con el líquido extracelular, una de las razones por la cual las capas de la membrana son asimétricas o diferentes.

## Disposición de las proteínas de membrana

Las proteínas de membrana se clasifican en integrales o periféricas según estén o no alojadas profundamente en la membrana (fig. 3-2). Las **proteínas integrales** se extienden hacia la bicapa lipídica o entre las colas de ácidos grasos y permanecen firmemente contenidas en ella. La mayor parte de las proteínas integrales son **proteínas transmembrana**, lo cual significa que atraviesan completamente la bicapa lipídica y hacen protrusión tanto en el citosol como en el líquido extracelular. Algunas proteínas integrales están firmemente adheridas a un lado de la bicapa por enlaces covalentes con los ácidos grasos. Como los lípidos de la membrana, las proteínas integrales de la membrana son anfipáticas. Sus regiones hidrófilas sobresalen hacia el líquido extracelular o hacia el citosol, y sus regiones hidrófobas se extienden entre las colas de los ácidos grasos.

Como su nombre indica, las **proteínas periféricas** no están tan firmemente introducidas en la membrana. Se asocian en forma más laxa con las cabezas polares de los lípidos o con proteínas integrales situadas en la superficie interna o externa de la membrana.

Muchas proteínas de membrana son **glucoproteínas**, proteínas que contienen un grupo carbohidrato unido a su extremo y que se orienta hacia el líquido extracelular. Los hidratos de carbono son **oligosacáridos** (oligo-, de *óligos*, poco, y sacari, de *sákkharon*, azúcar), cadenas de 2 a 60 monosacáridos que pueden ser simples o ramificados. Los hidratos de carbono de los glucolípidos y de las glucoproteínas forman una cubierta extensa, llamada **glucocáliz**. Éste actúa como una "rúbrica" molecular que le permite a las células reconocerse entre sí. Por ejemplo, la capacidad de los glóbulos blancos para detectar un glucocáliz "extraño" es una de las bases de la respuesta inmune que nos ayuda a destruir los microorganismos invasores. Además, el glucocáliz hace posible que las células se adhieran unas con otras en ciertos tejidos e impide que las células sean digeridas por las enzimas del líquido extracelular. Las propiedades hidrófilas del glucocáliz atraen a una película de líquido hacia la superficie de muchas células. Esto permite que los glóbulos rojos se deslicen a través de vasos sanguíneos de calibre pequeño e impide que las células que tapizan las vías respiratorias y el tubo digestivo se deshidraten.

## Funciones de la membrana plasmática

Por lo general, los lípidos de las membranas celulares no varían demasiado. Al contrario, las membranas de diferentes células y varios orgánulos intracelulares tienen proteínas dispuestas de forma muy diferente que determinan muchas de las funciones de la membrana (fig. 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**: un solo tipo de ion puede atravesarlos.
- Otras proteínas integrales actúan como **transportadores**, que llevan en forma selectiva una sustancia polar o ion desde un lado de la membrana al 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** de ese receptor.
- Algunas proteínas integrales son **enzimas** que catalizan reacciones químicas específicas en la superficie externa o interna de la célula.
- Las proteínas integrales también pueden actuar como **proteínas de fijación**, que actúan uniendo entre sí a las proteínas presentes en la membrana plasmática de las células vecinas o bien con los filamentos proteicos que se encuentran dentro y fuera de la célula. Las proteínas periféricas también sirven como enzimas y proteínas de fijación.

## ▶ OBJETIVO

Describir la estructura y las funciones del citoplasma, el citosol y los orgánulos.

## El citosol

El **citosol** (líquido intracelular) es la porción líquida del citoplasma que rodea a los orgánulos (véase **fig. 3-1**) y constituye alrededor del 55% del volumen celular total. A pesar de que varía en su composición y consistencia en los distintos sectores de la célula, el citosol está formado en un 70 a 95% por agua, a la que se suman diferentes compuestos que están disueltos o en suspensión. Entre éstos hay 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 en cúmulos. Estos agregados pueden aparecer y desaparecer en diferentes momentos de la vida de una célula. Algunos ejemplos son las *gotas de lípido* que contienen triglicéridos y las partículas de moléculas de glucógeno denominadas *gránulos de glucógeno* (véase **fig. 3-1**).

El citosol es el lugar donde se producen 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 dan lugar a dos moléculas de ATP a partir de una molécula de glucosa (véase **fig. 25-4**). Otros tipos de reacciones citosólicas aportan los materiales de construcción fundamentales para el mantenimiento y crecimiento de las estructuras celulares.

## 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, mantenimiento y reproducción celulares. A pesar de la diversidad de reacciones químicas que tienen lugar en una célula en un momento dado, existe muy poca interferencia entre las reacciones ya que están confinadas en diferentes orgánulos. Cada uno de ellos 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 con la función que cumplen. A pesar de tener diferentes funciones, los orgánulos cooperan unos con otros para mantener la homeostasis. Si bien el núcleo es un orgánulo grande, se lo describirá en una sección separada por su especial importancia en el control del ciclo vital de las células.

## El citoesqueleto

El **citoesqueleto** es una red de filamentos proteicos que se extiende a través del citosol (véase **fig. 3-1**). Tres tipos de filamentos proteicos contribuyen a la estructura del citoesqueleto, así como a la de otros orgánulos. En orden creciente de diámetro, estas estructuras son los microfilamentos, los filamentos intermedios y los microtúbulos.

Los **microfilamentos**, los elementos más delicados del citoesqueleto, están compuestos por la proteína *actina* y son más abundantes en la periferia de la célula (**fig. 3-13a**). Tienen dos funciones generales: ayudan a generar el movimiento y proveen soporte mecánico. Con respecto al movimiento, los microfilamentos intervienen en la contracción muscular, la división y la locomoción celulares, como la que se produce en la migración de las células embrionarias duran-

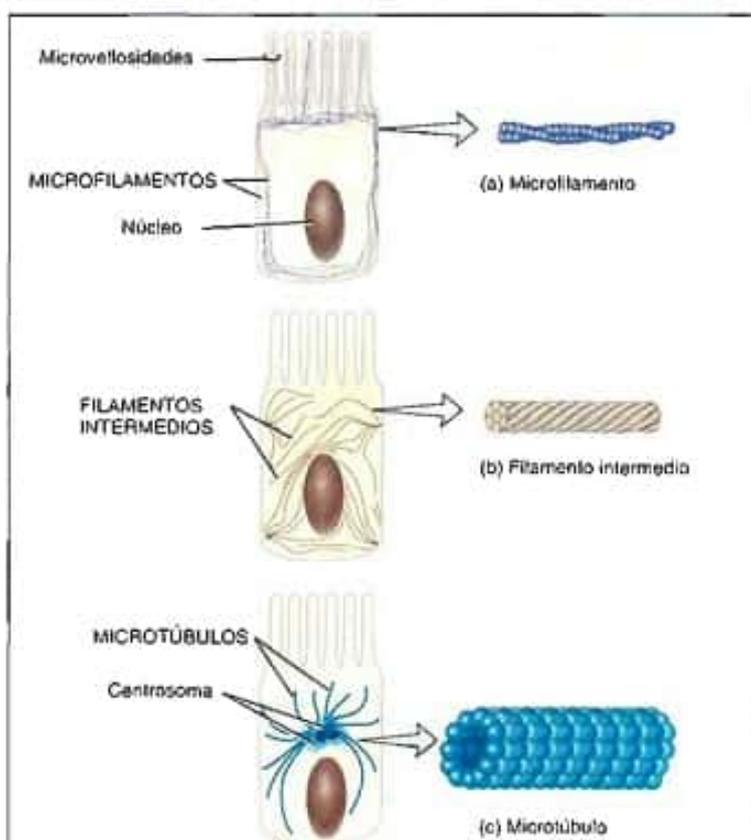
te el desarrollo, la invasión de diferentes tejidos por los glóbulos blancos para combatir la infección o la migración de células cutáneas en el proceso de curación de las heridas.

Los **microfilamentos** proporcionan la mayor parte del soporte mecánico que es responsable de la fuerza y la forma básicas de la célula. Estos microfilamentos unen el citoesqueleto a las proteínas integrales de la membrana plasmática, también dan soporte mecánico a las extensiones celulares denominadas **microvellosidades**, proyecciones en forma de dedo, inmóviles, de la membrana plasmática. Dentro de cada microvellosidad hay un núcleo de microfilamentos paralelos. Puesto que aumentan en gran medida la superficie celular, las microvellosidades son abundantes en las células que están relacionadas con la absorción, como las células epiteliales del intestino delgado.

Los **filamentos intermedios** son más gruesos que los microfilamentos y se extienden a través de la célula. Estos filamentos proporcionan un soporte mecánico adicional y ayudan a mantener la forma de la célula. Los **microtúbulos** son los filamentos más gruesos y están organizados en un patrón de husillo que ayuda a mover orgánulos y moléculas dentro de la célula. Los microtúbulos también ayudan a mantener la forma de la célula y a organizar su contenido.

**Fig. 3-13 Citoesqueleto.**

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



### Funciones

1. Sirve como estructura que ayuda a determinar la forma de una célula y organizar su contenido.
2. Contribuye al movimiento de los orgánulos dentro de la célula, de los cromosomas durante la división celular y de células enteras como los fagocitos.

¿Qué componente del citoesqueleto colabora en la formación de las estructuras de los centriolos, los cilios y los flagelos?

Como su nombre sugiere, los **filamentos intermedios** son más gruesos que los microfilamentos pero más delgados que los microtúbulos (véase **fig. 3-13b**). Varios tipos de proteínas pueden formar parte de los filamentos intermedios, que son excepcionalmente fuertes. Se encuentran en las regiones de la célula sujetas a estrés mecánico, ayudan a estabilizar la ubicación de orgánulos como el núcleo, y contribuyen a que las células se adhieran entre sí.

El componente más grande del citoesqueleto, los **microtúbulos**, son tubos largos, huecos y no ramificados, compuestos principalmente por la proteína *tubulina*. El ensamblado de los microtúbulos comienza en un orgánulo llamado centrosoma (el cual será estudiado más adelante). Los microtúbulos se desarrollan desde los centrosomas en la periferia de la célula (**fig. 3-13c**), y contribuyen a dar forma a la célula. También cumplen funciones en el movimiento de ciertos orgánulos como las vesículas secretoras, de los cromosomas durante la división celular y de las proyecciones celulares especializadas, como los cilios y los flagelos.

### Centrosoma

El centrosoma, localizado cerca del núcleo, tiene dos componentes: un par de centriolos y material pericentriolar (**fig. 3-14a**). El **centriolo** es una estructura cilíndrica compuesta por nueve complejos de tres microtúbulos (tripletes) dispuestos en forma circular (**fig. 3-14b**). El eje longitudinal de uno de los centriolos está en ángulo recto con el eje longitudinal del otro (**fig. 3-14c**). Alrededor de los centriolos se encuentra el **material pericentriolar**, que contiene cientos de complejos anulares formados por la proteína *tubulina*. Estos complejos de tubulina son los centros de organización del crecimiento del huso mitótico, que desempeña un papel crítico en la división celular y también en la formación de 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 tengan la capacidad de realizar la división celular.

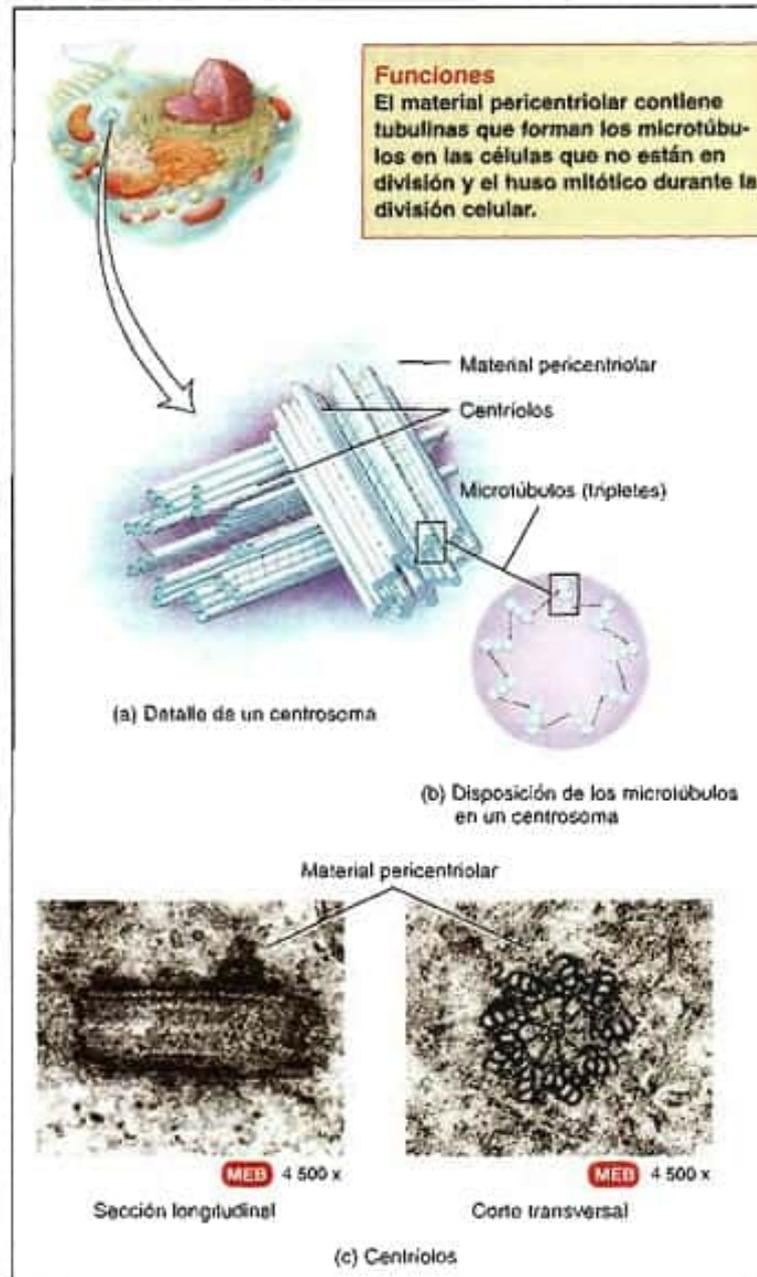
### Cilios y flagelos

Los microtúbulos son los componentes predominantes de los cilios y flagelos, proyecciones móviles de la superficie celular (**fig. 3-15**). Los **cilios** (de *cilium*, pestaña) son apéndices numerosos, cortos, similares a pelos, que se extienden desde la superficie de la célula (véase **fig. 3-1**). Cada cilio contiene un núcleo de 20 microtúbulos rodeado por la membrana plasmática (**fig. 3-15a**). Los microtúbulos están dispuestos de tal manera que un par central es rodeado por nueve complejos de dos microtúbulos fusionados (dobletes). Cada cilio permanece unido a un **cuerpo basal** que se halla por debajo de la superficie de la membrana plasmática. Un cuerpo basal es similar en su estructura a un centriolo y cumple funciones en el ensamblado de los cilios y los flagelos.

Los cilios realizan un movimiento similar al de un remo; es relativamente rígido durante el movimiento de fuerza (el remo introduciéndose en el agua), pero es más flexible durante el movimiento de recuperación (el remo moviéndose por arriba del agua y preparándose para una nueva remada) (**fig. 3-15b**). Los movimientos coordinados de muchos cilios en la superficie de una célula dan lugar a un movimiento sostenido del líquido a lo largo de la superficie celular. Mu-

**Fig. 3-14 Centrosoma.**

Localizado cerca del núcleo, el centrosoma consta de un par de centriolos y de material pericentriolar.



Si observase que una célula no tiene un centrosoma, ¿qué podría presumir acerca de la capacidad de esa célula para realizar la división celular?

chas células del tracto respiratorio, por ejemplo, tienen cientos de cilios que ayudan a barrer fuera de los pulmones las partículas extrañas atrapadas en el moco. En la fibrosis quística, la densidad anormal de las secreciones mucosas interfiere con la acción de los cilios y, por ende, con las funciones normales del tracto respiratorio. El movimiento de los cilios también es paralizado por la nicotina del humo del cigarrillo. Por esta razón, los fumadores tosen con frecuencia pa-

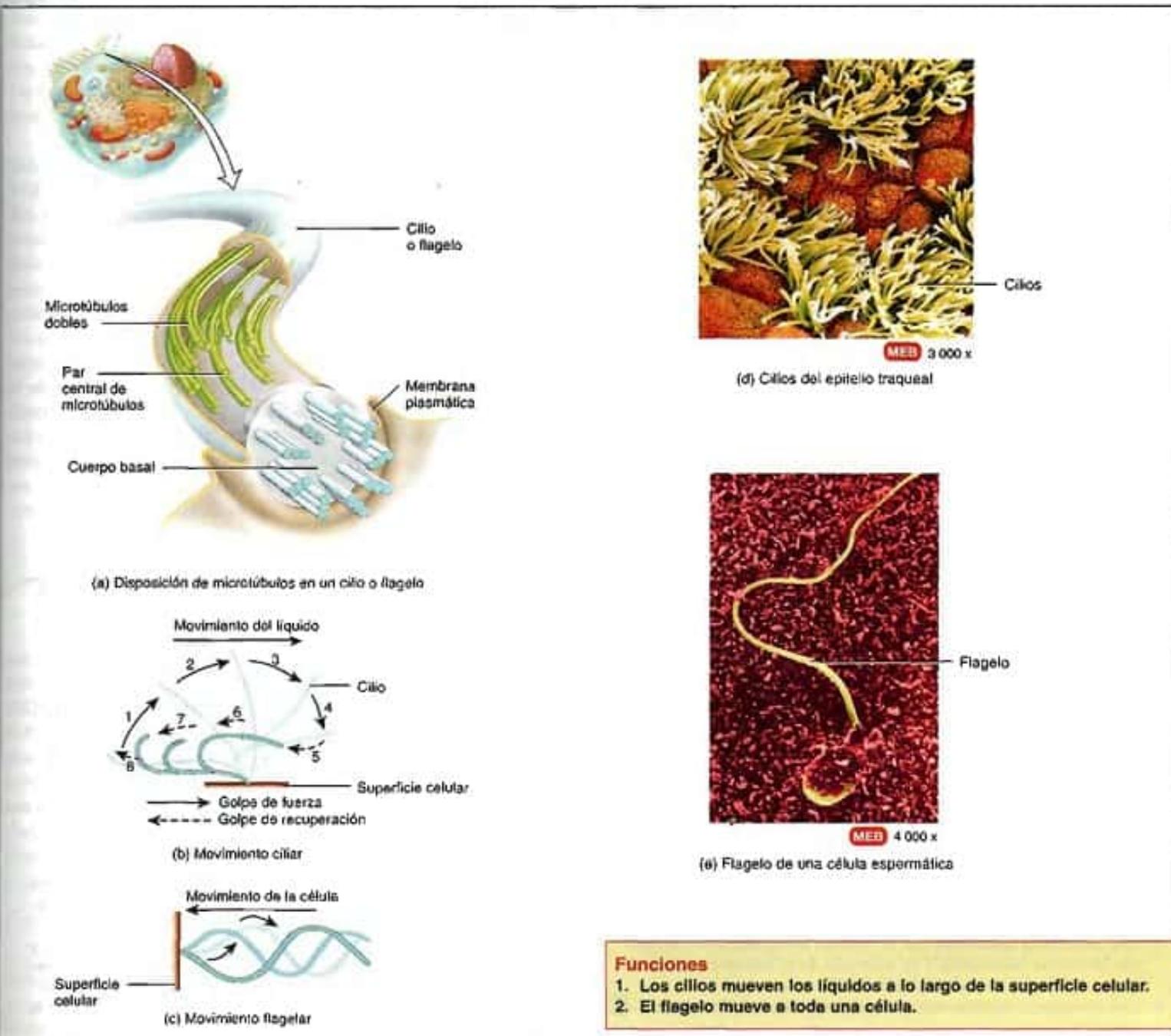
ra eliminar las partículas extrañas de sus vías respiratorias. Las células que revisten las trompas uterinas (de Falopio) también tienen cilios que desplazan al óvulo hacia el útero, y las mujeres que fuman tienen un riesgo mayor de embarazo ectópico (fuera del útero).

Los flagelos (de *flagelum*, látigo) son similares en su estructura a los cilios, pero suelen ser mucho más largos. Los flagelos

generalmente mueven una célula entera. Un flagelo genera movimiento hacia adelante a lo largo de su eje por el movimiento rápido que sigue un patrón ondulante (fig. 3-15c). El único ejemplo de flagelos en el cuerpo humano es la cola de los espermatozoides, que propulsa a estas células hacia su encuentro con el óvulo.

Fig. 3-15 Cilios y flagelos.

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



**Funciones**

1. Los cilios mueven los líquidos a lo largo de la superficie celular.
2. El flagelo mueve a toda una célula.

¿Cuál es la diferencia funcional entre los cilios y los flagelos?

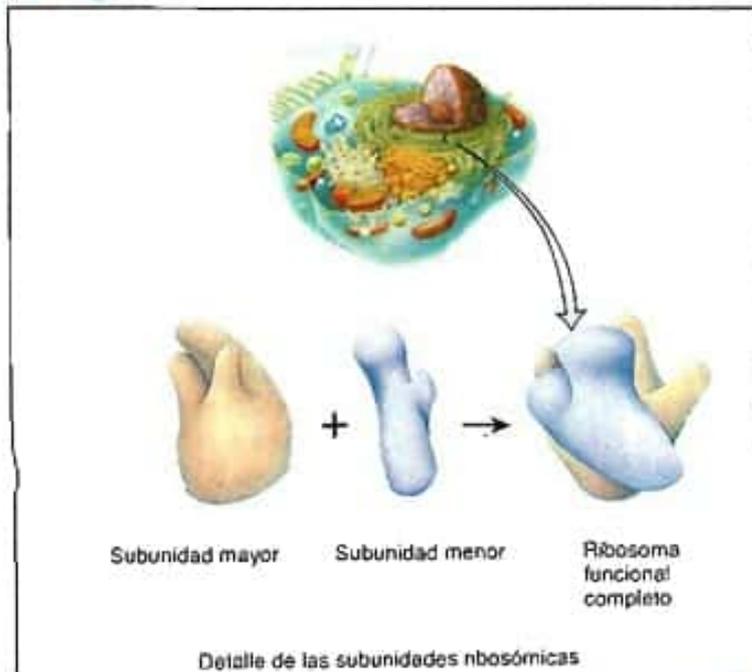
### Ribosomas

Los **ribosomas** (-soma, de *sóma*, cuerpo) son los sitios de síntesis proteica. El nombre de estos pequeños orgánulos refleja su alto contenido de un tipo especial de ácido ribonucleico, el **ARN ribosómico (ARNr)**, aunque también puede incluir a más de 50 proteínas. Estructuralmente, un ribosoma está constituido por dos subunidades, una de las cuales tiene la mitad del tamaño de la otra (fig. 3-16). Las subunidades mayor y menor se forman por separado en el nucléolo, un cuerpo esférico que está dentro del núcleo. Una vez sintetizadas, las subunidades mayor y menor abandonan el núcleo y se unen en el citoplasma.

Algunos ribosomas están adheridos a la superficie externa de la membrana nuclear y a una membrana extensamente plegada denominada retículo endoplasmático. Estos ribosomas sintetizan las proteínas que tienen como destino orgánulos específicos, su inserción en la membrana plasmática o su salida de la célula. Otros ribosomas son "libres" o no adheridos a ninguna otra estructura citoplasmática. Los ribosomas libres sintetizan proteínas que serán utilizadas en el citosol. Los ribosomas también están localizados dentro de las mitocondrias, donde sintetizan proteínas mitocondriales.

Fig. 3-16 Ribosomas.

Los ribosomas son los sitios de la síntesis proteica.



**Funciones**

1. Los ribosomas asociados con el retículo endoplasmático sintetizan proteínas destinadas a su inserción en la membrana plasmática o a la secreción extracelular.
2. Los ribosomas libres sintetizan proteínas que se utilizan en el citosol.

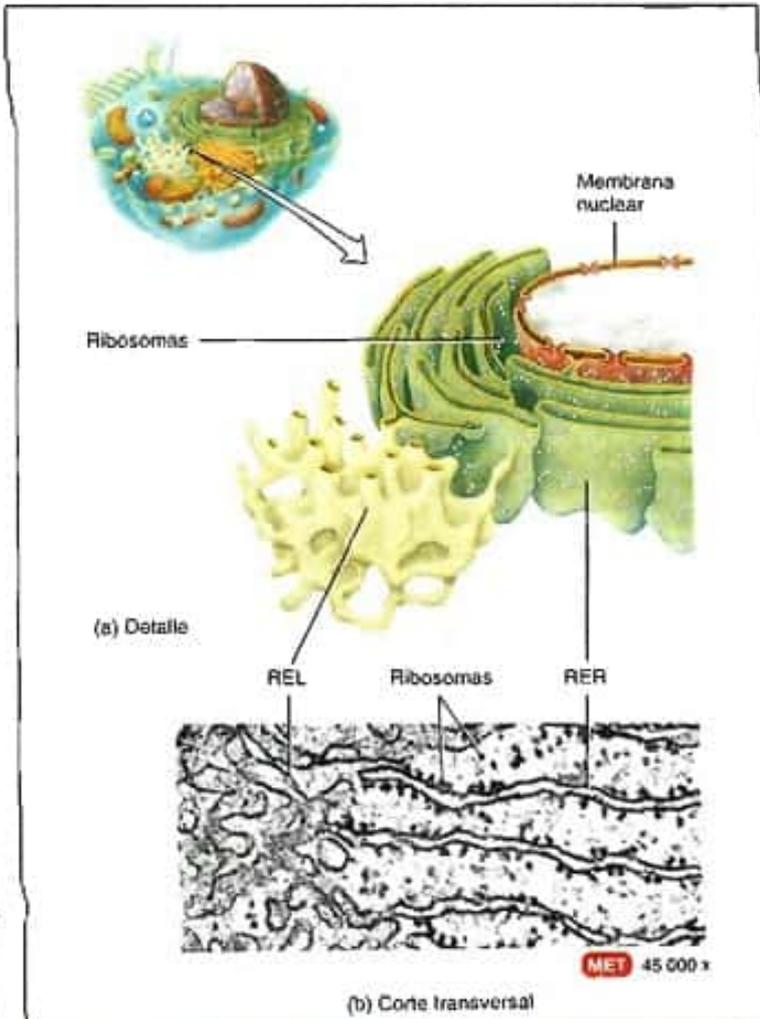
¿Dónde se sintetizan y ensamblan las subunidades ribosómicas?

### Retículo endoplasmático

El **retículo** (de *reticulum*, diminutivo de red) **endoplasmático** o **RE** es una red de membranas en forma de sacos aplanados o túbulos (fig. 3-17). El RE se extiende desde la membrana o envoltura nuclear (membrana que rodea al núcleo), con la cual se conecta hacia

Fig. 3-17 Retículo endoplasmático.

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



**Funciones**

1. El RER sintetiza glucoproteínas y fosfolípidos que son transferidos a los orgánulos celulares, insertados en la membrana plasmática o secretados por exocitosis.
2. El REL sintetiza ácidos grasos y esteroides, como estrógenos y la testosterona; inactiva o detoxifica ciertas drogas y otras sustancias potencialmente nocivas; elimina el grupo fosfato de la glucosa-6-fosfato y almacena y libera iones calcio que inician la contracción de las células musculares.

¿Cuáles son las diferencias funcionales y estructurales entre el RER y el REL?

todo el citoplasma. El RE es tan amplio que constituye casi 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)** es una estructura que se continúa con la membrana nuclear y generalmente se presenta plegado en una serie de sacos aplanados. La superficie externa del RER está revestida de ribosomas, los sitios de síntesis proteica. Las proteínas sintetizadas por los ribosomas penetran en los espacios que hay en el interior 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 pueden incorporarse a las membranas de los orgánulos, insertarse en la membrana plasmática o secretarse por exocitosis. De tal modo el RER produce proteínas secretoras, proteínas de membrana y muchas proteínas de los orgánulos.

El **RE liso (REL)** se extiende desde el RE rugoso para formar una red de túbulos membranosos (fig. 3-17). A diferencia del RER, el REL carece de ribosomas en la superficie externa de sus membranas. Sin embargo, contiene enzimas especiales que pueden hacerlo funcionalmente más diverso que el RER. La ausencia de ribosomas impide la síntesis de proteínas, pero sí puede sintetizar ácidos grasos y esteroides, como los estrógenos y la testosterona. En las células hepáticas, las enzimas del REL facilitan la liberación de la glucosa hacia el torrente sanguíneo y contribuyen a inactivar o detoxificar los fármacos liposolubles o las sustancias potencialmente nocivas, como el alcohol, los pesticidas y los *carcinógenos* (agentes causantes de cáncer). En las células del hígado, del riñón y del intestino una enzima del REL separa el grupo fosfato de la glucosa-6-fosfato, lo cual permite que se "libere" la glucosa y pueda ingresar en la sangre. En las células musculares, los iones calcio que estimulan la contracción son liberados desde el retículo sarcoplasmático, una forma de REL.

### Retículo endoplasmático liso y tolerancia a los fármacos

Una de las funciones del REL, como se mencionó, es detoxificar ciertos fármacos. Quienes consumen en forma repetida algunos fármacos, como el sedante fenobarbital, desarrollan cambios en el REL de las células hepáticas. La administración prolongada de fenobarbital trae como resultado la tolerancia al fármaco; la misma dosis deja de producir el mismo grado de sedación. Con la exposición reiterada al fármaco, la cantidad de REL y sus enzimas aumentan para proteger a la célula de sus efectos tóxicos. Como la cantidad de REL aumenta, son necesarias dosis cada vez más altas del fármaco para alcanzar el grado original de efecto. ■

### Complejo de Golgi

La mayor parte de las proteínas sintetizadas en los ribosomas adheridos al RER son por último transportadas a otras regiones de la célula. El primer paso en la vía de transporte es un orgánulo denominado **complejo de Golgi**. Consta de 2 a 20 cisternas, pequeños sacos aplanados y membranosos, de bordes salientes, que parecen una pila de pitas (pan árabe) (fig. 3-18). Las cisternas suelen ser in-

curvadas y le dan al complejo de Golgi un aspecto de copa. Casi todas las células tienen varios complejos de Golgi, y éstos son más numerosos en las células que secretan proteínas. una clave para entender el papel de este orgánulo en la célula.

Las cisternas en los extremos opuestos de un complejo de Golgi difieren entre sí en su forma, su tamaño y su actividad enzimática. La entrada convexa o *cara cis*, mira hacia el RER. La salida cóncava, o *cara trans*, mira hacia la membrana plasmática. Los sacos que se hallan entre las caras de entrada y de salida se denominan **cisternas mediales**. Las vesículas de transporte (estudiadas más adelante) provenientes del RE se fusionan para formar la cara de entrada. Se piensa que las cisternas maduran desde la cara de entrada y se convierten en cisternas mediales y luego en cisternas de salida.

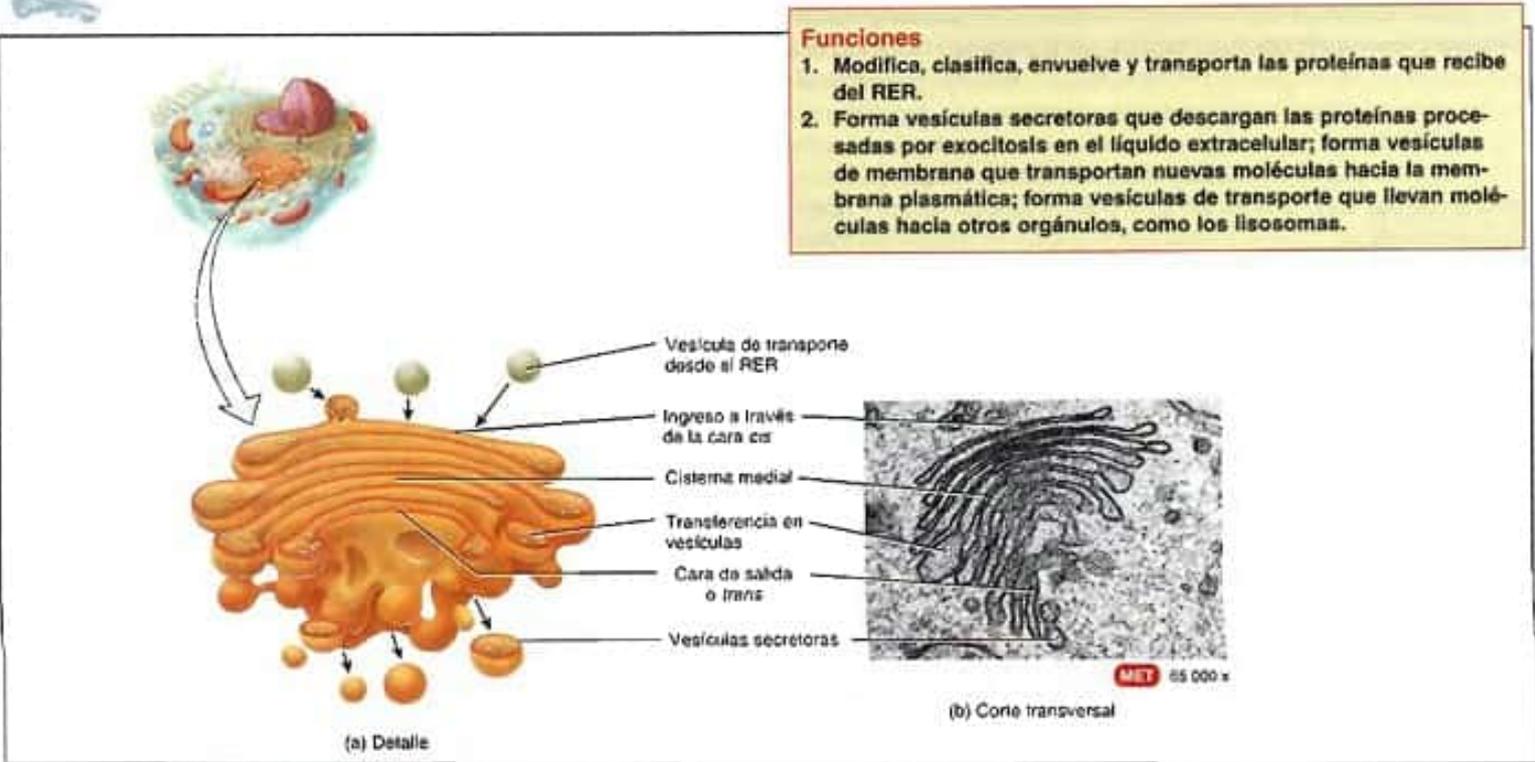
Las diferentes enzimas presentes en las regiones de entrada, medial y de salida del complejo de Golgi permiten que cada una de estas áreas pueda modificar, ordenar y envolver a las proteínas para su transporte a diferentes destinos. La cara de entrada recibe y modifica las proteínas producidas por el RER. Las cisternas mediales agregan hidratos de carbono a las proteínas para formar glucoproteínas y lípidos para formar lipoproteínas. La cara de salida modifica aún más las moléculas y luego las selecciona y reúne para el transporte hacia su destino final.

Las proteínas que llegan al complejo de Golgi, lo atraviesan y salen de éste mediante la maduración de las cisternas y los intercambios que ocurren por las vesículas de transferencia (fig. 3-19):

- 1 Las proteínas sintetizadas por los ribosomas del RER son rodeadas por una porción de la membrana del RE, que posteriormente brota de la superficie de la membrana para formar las **vesículas de transporte**.
- 2 Las vesículas de transporte se dirigen hacia la cara de entrada del complejo de Golgi.
- 3 La fusión de varias vesículas de transporte crea una cara de entrada en el complejo 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 de 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 parcialmente modificadas 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 la cara de salida, los productos sufren más modificaciones, se clasifican y rodean de membrana y son empaquetados.
- 7 Algunas de las proteínas procesadas abandonan la cara de salida y quedan almacenadas en **vesículas secretoras**. Estas vesículas llevan las proteínas hacia la membrana plasmática, donde se liberan por exocitosis hacia el líquido extracelular. Ciertas

**Fig. 3-18** Complejo de Golgi.

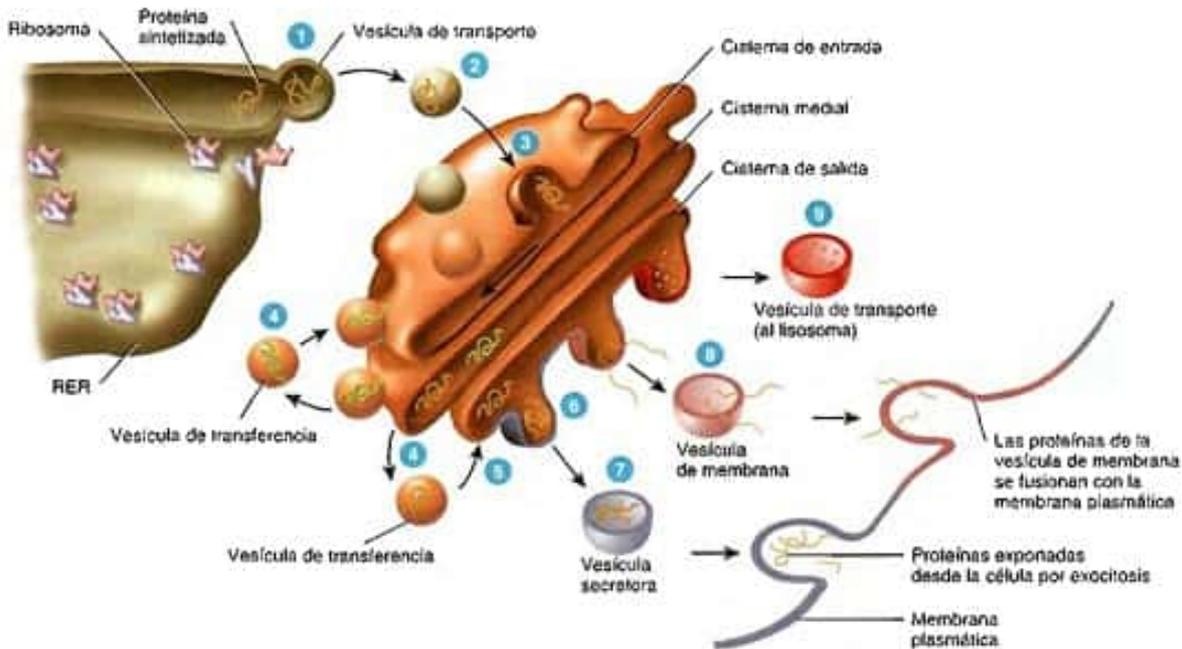
Las caras opuestas del complejo de Golgi difieren en tamaño, forma, contenido y actividad enzimática.



¿En qué difieren con respecto a su función las caras de entrada y de salida?

**Fig. 3-19** Procesamiento y envoltura de las proteínas en el complejo de Golgi.

Todas las proteínas que se exportan de la célula se procesan en el complejo de Golgi.



¿Cuáles son los tres destinos principales de las proteínas que abandonan el complejo de Golgi?

células pancreáticas, por ejemplo, liberan la hormona insulina de esta forma.

- 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 la propia membrana. De esta manera, el complejo 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.
- Finalmente, algunas proteínas procesadas abandonan la cara de salida en vesículas de transporte que las llevan hacia otro destino en la célula. Por ejemplo, las vesículas de transporte llevan las enzimas digestivas hacia los lisosomas; la estructura y la función de estos orgánulos importantes serán estudiadas a continuación.

## Lisosomas

Los **lisosomas** (liso-, de *lysis*, disolución, y -soma, de *sóma*, cuerpo) son vesículas rodeadas de membrana que se forman en el complejo de Golgi (Fig. 3-20). En su interior hay 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 en un pH ácido, la membrana lisosómica contiene bombas de transporte activas que importan iones hidrógeno ( $H^+$ ). De esta manera, el interior de los lisosomas tiene un pH de 5, que es 100 veces más ácido que el pH del citosol (pH 7). La membrana lisosómica también presenta transportadores que acarrean los productos finales de la digestión, como la glucosa, los ácidos grasos y los aminoácidos, hacia el citosol.

Las enzimas lisosómicas intervienen, asimismo, en el reciclado de las estructuras celulares deterioradas. Un lisosoma puede ingerir otro orgánulo, digerirlo y luego devolver los componentes digeridos al citosol para su nuevo uso, proceso que se denomina **autofagia** (auto-, de *autós*, mismo, y -fagia, de *phagéin*, comer). Durante la autofagia, el orgánulo que ha de ser digerido es rodeado por una membrana que deriva del RE para crear la vesícula denominada **autofagosoma**, que luego se fusiona con un lisosoma. De tal modo, una célula hepática humana recicla alrededor de la mitad de su contenido citoplasmático cada semana. Las enzimas lisosómicas también pueden destruir la célula entera mediante el proceso de **autólisis**. La autólisis tiene lugar en algunas situaciones patológicas y es también responsable del deterioro de los tejidos después de la muerte.

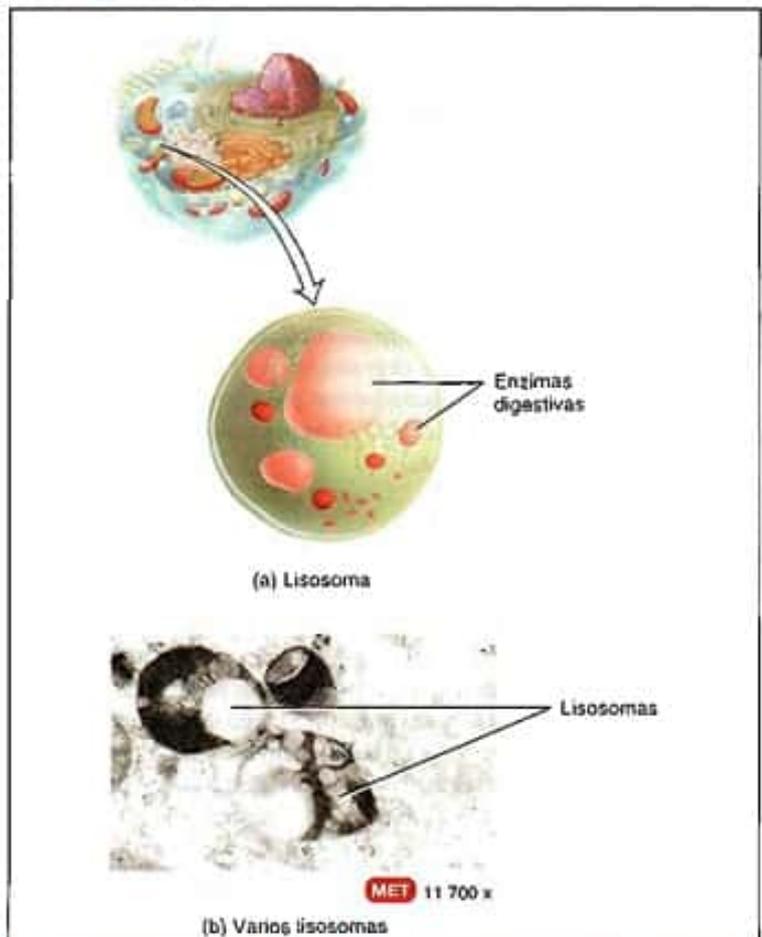
Como se expresó, la mayor parte de las enzimas lisosómicas actúan dentro de la célula. Sin embargo, algunas participan en la digestión extracelular. Un ejemplo se da durante la fecundación. La cabeza del espermatozoide libera enzimas lisosómicas que lo ayudan a introducirse en el óvulo, por la disolución de su cubierta protectora en el proceso llamado **reacción acrosómica** (véase p. 1127).

## Enfermedad de Tay-Sachs

Algunas enfermedades son causadas por defectos en las enzimas lisosómicas o bien por su ausencia. Por ejemplo, la **enferme-**

Fig. 3-20 Lisosomas.

Los lisosomas contienen varios tipos de poderosas enzimas digestivas.



### Funciones

- Digiere las sustancias que entran en la célula por endocitosis y transportan los productos finales de la digestión al citosol.
- Llevar a cabo la autofagia, la digestión de los orgánulos viejos.
- Llevar a cabo la autólisis, la digestión de una célula entera.
- Llevar a cabo la digestión extracelular.

¿Qué nombre recibe el proceso por el cual los lisosomas digieren los orgánulos viejos?

**dad de Tay-Sachs**, que afecta con mayor frecuencia a niños de origen ashkenazí (judíos del este de Europa), es un trastorno hereditario caracterizado por la ausencia de la enzima lisosómica Hex A. En condiciones normales, esta enzima hidroliza un glucolípidido de membrana denominado gangliósido  $G_{M2}$ , que es especialmente abundante en las células nerviosas. A medida que el gangliósido  $G_{M2}$  se acumula, la función de las células nerviosas comienza a alterarse. Los niños con la enfermedad de Tay-Sachs sufren convulsiones y rigidez muscular, una pérdida gradual de la visión, presentan demencia y falta de coordinación, y suelen morir antes de alcanzar los 5 años de edad. Las pruebas disponibles actualmente pueden revelar si un adulto es portador o no del gen defectuoso. ■

### Peroxisomas

Otro grupo de orgánulos similares en estructura a los lisosomas, pero más pequeños, son los **peroxisomas** (peroxi-, peróxido + soma) (véase fig. 3-1). Contienen varias *oxididas*, enzimas que pueden oxidar (eliminar átomos de hidrógeno) de diversas sustancias orgánicas. Por ejemplo, los aminoácidos y los ácidos grasos pueden ser oxidados en los peroxisomas como parte del metabolismo normal. Además, las enzimas de los peroxisomas oxidan sustancias tóxicas, como el alcohol. Por ello 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. Sin embargo, los peroxisomas también contienen la enzima *catalasa*, que descompone al  $H_2O_2$ . Como la producción y la degradación del  $H_2O_2$  tiene lugar dentro de la misma organela, los peroxisomas protegen a otras partes de la célula de los efectos tóxicos del  $H_2O_2$ . Los peroxisomas nuevos se forman a partir de los ya existentes.

### Proteasomas

Como hemos explicado, los lisosomas degradan las proteínas que reciben por medio de las vesículas. Las proteínas citosólicas también requieren su eliminación en algún momento del ciclo vital de una célula. La destrucción permanente de las proteínas no necesarias, dañadas o defectuosas es una función que está a cargo de pequeñas estructuras con forma de tonel denominadas **proteasomas**. Las proteínas que forman parte de las vías metabólicas, por ejemplo, son degradadas después de haber cumplido su función. Esta destrucción proteica participa en la retroalimentación negativa ya que establece un alto en la vía una vez que se obtuvo la respuesta adecuada. Una célula típica del organismo contiene muchos cientos de proteasomas, tanto en el citosol como en el núcleo. Descubiertos recientemente, ya que por su pequeño tamaño resulta imposible verlos con el microscopio óptico y no se ven bien en las microfotografías electrónicas, los proteasomas reciben su nombre por el alto contenido de *proteasas*, enzimas que pueden cortar a las proteínas en péptidos pequeños. Una vez que las enzimas de un proteasoma hidrolizaron a una proteína en segmentos más pequeños, otras enzimas pueden luego descomponer a esos péptidos en aminoácidos, los cuales se reciclan para formar nuevas proteínas.

Algunas enfermedades son el resultado de la incapacidad de los proteasomas de degradar las proteínas anormales. Por ejemplo, se acumulan grupos de proteínas con defectos de plegamiento en las células cerebrales en los pacientes con enfermedad de Parkinson y enfermedad de Alzheimer. El descubrimiento de por qué los proteasomas no pueden degradar a estas proteínas anormales es una de las metas de las investigaciones en curso.

### Mitocondrias

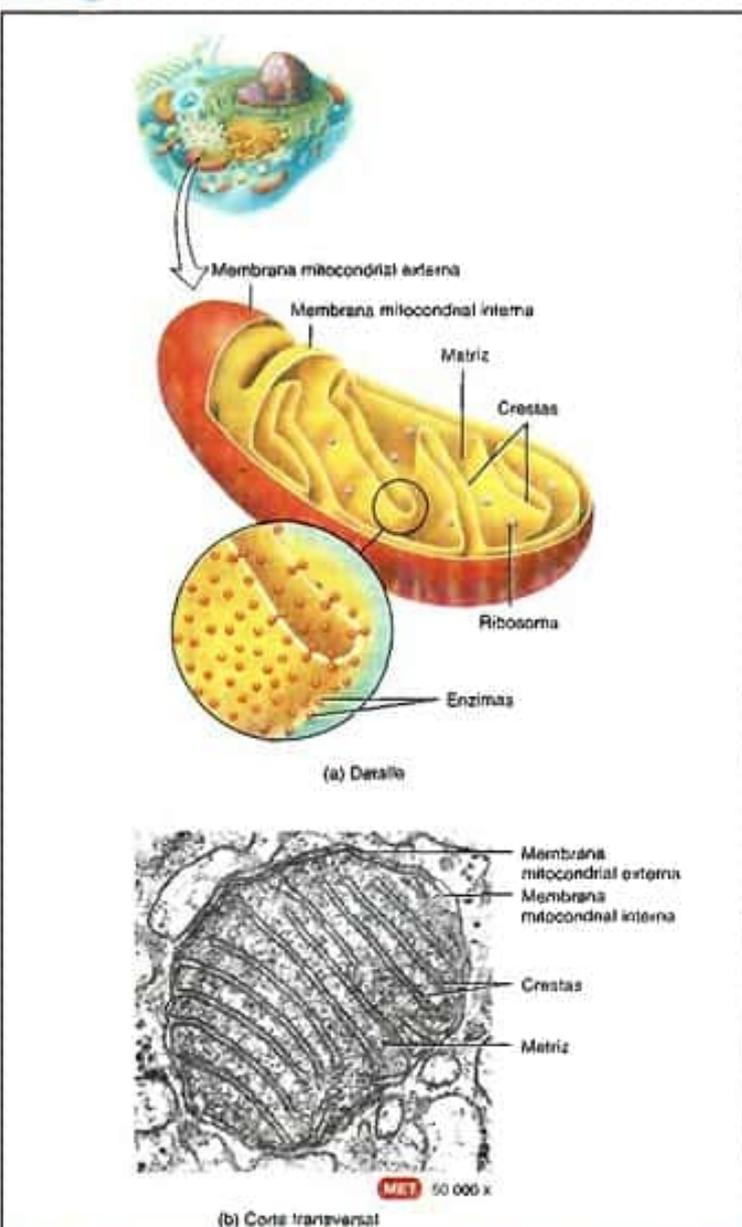
Como la mayor parte del ATP la generan las **mitocondrias** (mito-, de *mitos*, hilo, y -condria, de *khóndrion*, gránulo) a través de la respiración aeróbica, se dice que éstas son las "centrales de energía" de las células. Una célula puede tener desde cientos hasta varios miles de mitocondrias, de acuerdo con su actividad. Las células activas, como las de los músculos, el hígado y los riñones, que utilizan

el ATP con gran velocidad, tienen un número elevado de mitocondrias. Las mitocondrias se localizan generalmente en los sitios donde el oxígeno ingresa en la célula o donde se usa el ATP, 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

Fig. 3-21 Mitocondrias.

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



#### Funciones

Genera ATP mediante las reacciones químicas de la respiración celular aeróbica.

¿Cómo contribuyen las crestas de la mitocondria con su función de producir ATP?

un pequeño espacio lleno de líquido entre ambas (fig. 3-21). Las dos membranas son similares en su estructura a la membrana plasmática. La membrana mitocondrial interna contiene una serie de pliegues denominados crestas. La gran cavidad central de una mitocondria, repleta de líquido, es la **matriz**. Los complejos pliegues de las crestas suministran una superficie extensa para las reacciones químicas que intervienen en la fase aeróbica de la *respiración celular*, reacciones que producen la mayor parte del ATP de la célula (véase capítulo 25). Las enzimas que catalizan estas reacciones están situadas en las crestas y en la matriz mitocondriales.

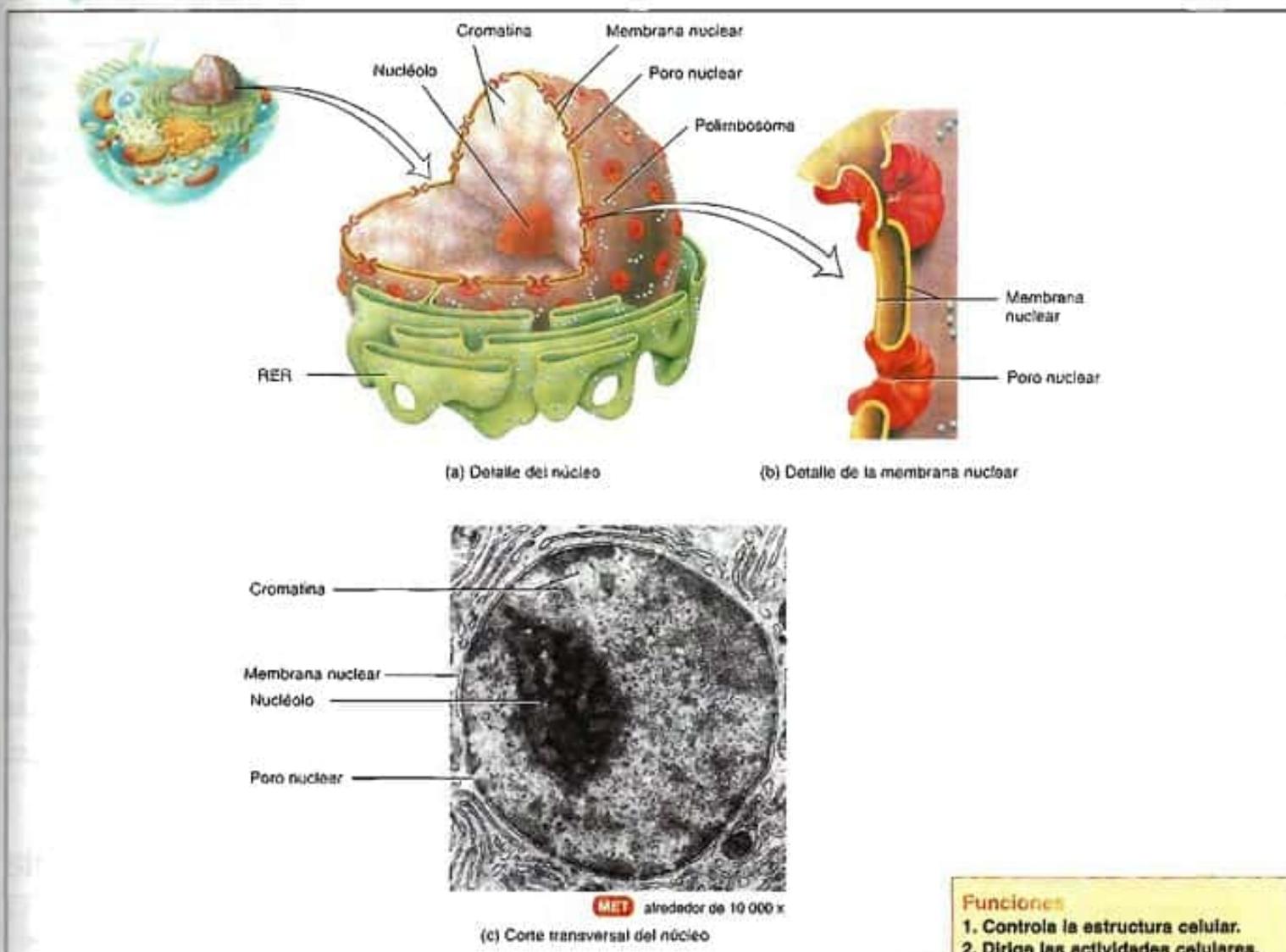
Como los peroxisomas, las mitocondrias se autorreplican, proceso que tiene lugar durante los intervalos de aumento de la deman-

da 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 ADN, en la forma de múltiples copias de moléculas de ADN circular que contienen 37 genes. Estos genes mitocondriales controlan la síntesis de 2 ARN ribosómicos. 22 ARN de transferencia y 13 proteínas que constituyen los componentes mitocondriales.

A pesar de que el núcleo de cada célula somática contiene genes tanto del padre como de la madre, los genes mitocondriales se heredan sólo de la madre. La cabeza del espermatozoide (la parte que penetra y fecunda a un óvulo) normalmente carece de la mayoría de los orgánulos, como las mitocondrias, los ribosomas, el retícu-

Fig. 3-22 El núcleo.

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



- Funciones**
1. Controla la estructura celular.
  2. Dirige las actividades celulares.
  3. Produce ribosomas en el núcleo.

¿Qué es la cromatina?

lo endoplasmático y el complejo de Golgi, y cualquier mitocondria del espermatozoide que efectivamente pudiese penetrar en el óvulo es destruida rápidamente.

### ► PREGUNTAS DE REVISIÓN

16. ¿Qué tiene el citoplasma que no tiene el citosol?
17. ¿Qué orgánulos están rodeados por una membrana y cuáles no?
18. ¿Qué orgánulos contribuyen a la síntesis de hormonas proteicas y a su inclusión en vesículas secretorias?
19. ¿Qué procesos tienen lugar en las crestas y en la matriz mitocondriales?

## EL NÚCLEO

### ► OBJETIVO

Describir la estructura y función del núcleo.

El núcleo es una estructura esférica u ovalada que por lo común constituye el elemento más destacado de una célula (fig. 3-22). La mayor parte de las células tienen un núcleo único, a pesar de que algunas, como los glóbulos rojos maduros, carecen de núcleo. Al contrario, las células musculares esqueléticas y algunos otros tipos celulares presentan múltiples núcleos. El núcleo está separado del citoplasma por una doble membrana denominada **envoltura** o **membrana nuclear**. Ambas 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. Muchos orificios llamados **poros nucleares** se extienden a lo largo de la membrana nuclear. Cada poro nuclear consiste en un grupo de proteínas circulares que rodean a una gran abertura central alrededor de 10 veces más ancha que la del poro de una proteína de canal en la membrana plasmática.

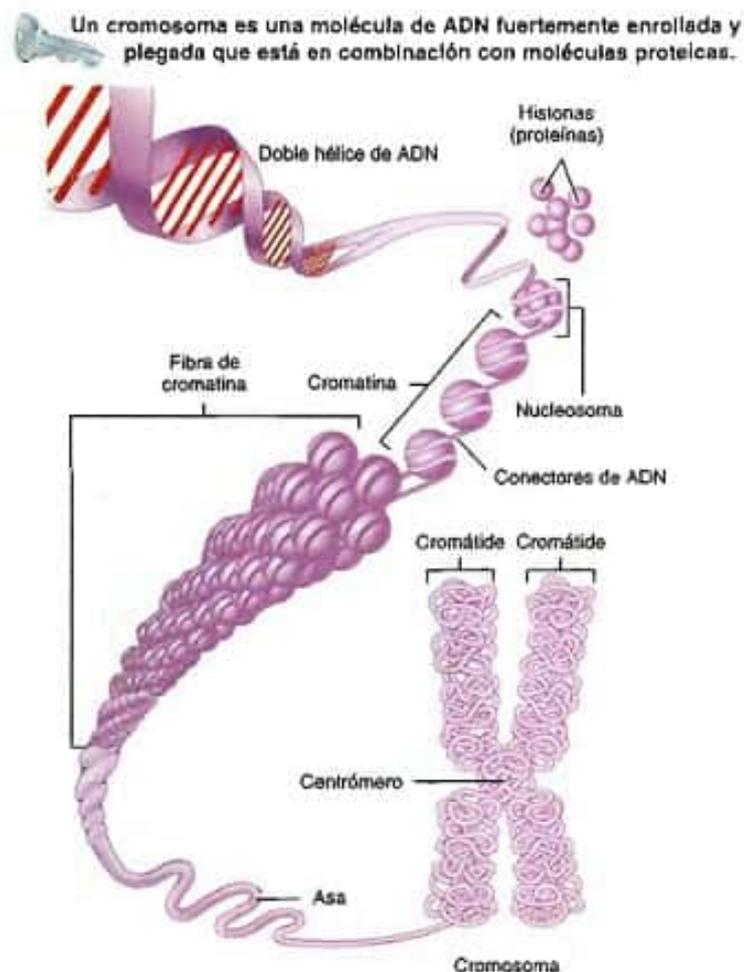
Los poros nucleares controlan el movimiento de sustancias entre el núcleo y el citoplasma. Pequeñas moléculas junto con iones se mueven a través de los poros por difusión pasiva. Las moléculas más grandes, como el ARN y las proteínas, no pueden atravesar los poros nucleares por difusión. En vez de ello, su pasaje involucra un proceso de transporte activo en el cual las moléculas se reconocen y se transportan selectivamente a través del poro hacia adentro o afuera del núcleo. Por ejemplo, las proteínas necesarias para las funciones nucleares se desplazan desde el citosol hacia el núcleo, y las moléculas recién formadas de ARN se dirigen desde el núcleo hacia el citosol de esta manera.

El núcleo contiene uno o más cuerpos esféricos denominados **nucléolos**, que cumplen funciones en la producción de los ribosomas. Cada nucléolo es simplemente un agregado de proteínas, ADN y ARN; no está rodeado por una membrana. Los nucléolos son los sitios de síntesis del ARNr y donde éste se ensamblan con las proteínas en subunidades ribosómicas. Son muy prominentes en las células que sintetizan grandes cantidades de proteínas, como las células musculares y las hepáticas. 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 hallan las unidades hereditarias de la célula, los **genes**, que controlan la estructura celular y dirigen las actividades celulares. Los genes están organizados en **cromosomas** (cromo-, de *chróoma*, color, y -soma, de *sóoma*, cuerpo). Las células somáticas (del cuerpo) de los seres humanos tienen 46 cromosomas, 23 heredados de cada uno de los padres. Cada cromosoma es una molécula larga de ADN que está enrollada junto con varias proteínas (fig. 3-23). Este complejo de ADN, proteínas y algo de ARN es la **cromatina**. La totalidad de la información genética contenida en una célula o un organismo es 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 está representada por un **nucleosoma** y consiste en una cadena doble de ADN que se enrolla dos veces alrededor de un núcleo de ocho proteínas denominadas **histonas**, que contribuyen a organizar el enrollamiento y plegamiento del ADN. El hilo entre las cuentas es el conector ADN que mantiene juntos a los nucleosomas

**Fig. 3-23** Disposición del ADN en el cromosoma en una célula en división. Cuando el proceso se completa, dos moléculas idénticas de ADN y sus histonas forman un par de cromátides, que se mantienen unidas por el centrómero.



¿Cuáles son las estructuras que componen el nucleosoma?

adyacentes. En las células que no están en división, otra histona promueve el enrollamiento de los nucleosomas en **fibras de cromatina**, de mayor diámetro, que luego se pliegan en grandes asas. Sin embargo, justo antes de que se produzca la división, el ADN se replica (duplica), las asas se condensan aún más y se forma un par de **cromátides**. Como se verá más adelante, durante la división celular los cromosomas están constituidos por un par de cromátides.

En el **cuadro 3-2** se resumen las partes principales de una célula y sus funciones.

## Genómica

En la última década del siglo XX se secuenciaron los genomas del ser humano, el ratón, la mosca de la fruta y más de 50 microorganismos. Como resultado, se asistió al florecimiento de la investigación en el campo de la **genómica**, el estudio de las relaciones entre el genoma y las funciones biológicas de un organismo. El Proyecto del Genoma Humano comenzó en junio de 1990 como un esfuerzo para secuenciar los casi 3 200 millones de nucleótidos que forman nuestro genoma y fue completado en abril de 2003. Más del 99.9% de las bases nucleotídicas son idénticas en todas las personas. Menos del 0.1% de nuestro ADN (1 de cada 1 000 bases) es responsable de las diferencias hereditarias entre los seres humanos. Sorpresivamente, la mitad del genoma humano, como mínimo, está constituido por secuencias repetidas que no codifican proteínas, el denominado ADN "chatarra". Un gen promedio consta de 3 000 nucleótidos, pero el tamaño varía en gran medida. El gen humano más grande conocido, con 2,4 millones de nucleótidos, es el que codifica la proteína distrofina. Los científicos saben ahora que el número total de genes en el genoma humano es de alrededor de 30 000, número mucho menor que el calculado de 100 000 genes. La información concerniente al genoma humano y cómo es afectado por el medio ambiente busca identificar y descubrir las funciones de los genes específicos que tienen un papel en las enfermedades genéticas. La medicina genómica también apunta al descubrimiento de nuevos fármacos y de nuevas pruebas de cribado que les permitan a los profesionales de la salud el asesoramiento y el tratamiento más efectivos para los trastornos que conllevan componentes genéticos significativos como la hipertensión (presión arterial alta), la obesidad, la diabetes y el cáncer. ■

### ▶ PREGUNTAS DE REVISIÓN

20. ¿Cómo hacen las partículas grandes para entrar en el núcleo y salir de éste?
21. ¿Dónde se produce el ARN?
22. ¿Cómo se dispone el ADN dentro del núcleo?

## SÍNTESIS DE PROTEÍNAS

### ▶ OBJETIVO

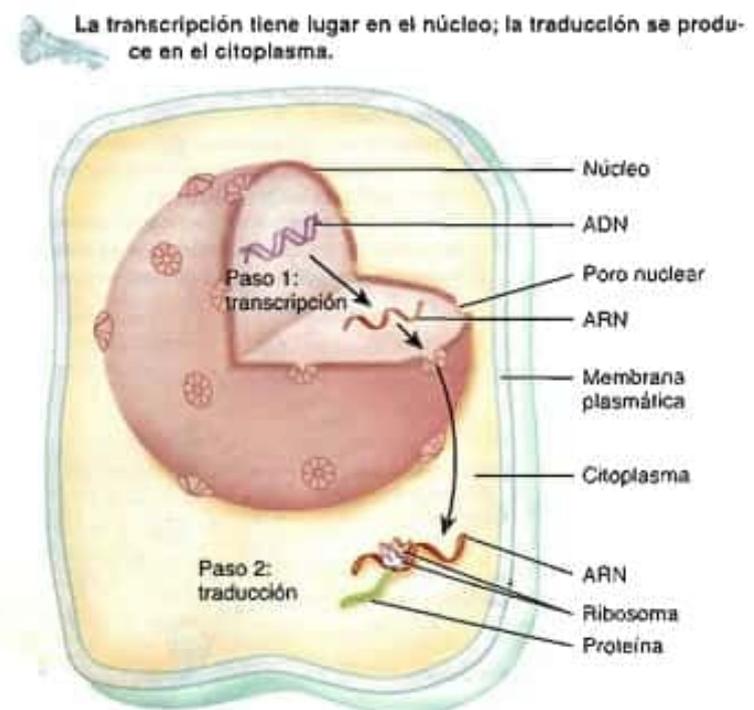
Describir la secuencia de procesos que tienen lugar en la síntesis de proteínas.

A pesar de que las células sintetizan muchas sustancias químicas para mantener la homeostasis, la mayor parte de la maquinaria celular está consagrada a la **síntesis de grandes cantidades de diversos tipos de proteínas**. Éstas, por su lado, determinan las características físicas y químicas de las células y, por ende, de los organismos que están constituidos por éstas. Algunas proteínas ayudan al ensamblado de estructuras celulares como la membrana plasmática, el citoesqueleto y otros orgánulos. Otras funcionan como hormonas, anticuerpos y elementos contráctiles en el tejido muscular. Otras, por fin, actúan como enzimas y regulan el ritmo de numerosas reacciones químicas en las células, o como transportadores y llevan diversos materiales en la sangre. Así como el término **genoma** designa a todos los genes de un organismo, el término **proteoma** se refiere a todas las proteínas presentes en un organismo.

En el proceso de **expresión genética**, el ADN de un gen se utiliza como molde para la síntesis de una proteína específica. Primero, en un proceso denominado apropiadamente **transcripción**, la información codificada en una región específica del ADN es **transcripta** (copiada) para producir una molécula de ARN (ácido ribonucleico). En el proceso posterior de **traducción**, el ARN se une a un ribosoma y la información que contiene ARN se traduce en su correspondiente secuencia de aminoácidos para formar una nueva molécula proteica (**fig. 3-24**).

El ADN y el ARN almacenan la información genética en grupos de tres nucleótidos. Esa secuencia de tres nucleótidos se llama **triple-**

**Fig. 3-24** Esquema general de la expresión genética. La síntesis de una proteína específica requiere la transcripción del ADN de un gen en una molécula de ARN y la traducción del ARN en su correspondiente secuencia de aminoácidos.



¿Por qué son importantes las proteínas para la vida de una célula?

CUADRO 3-2 Partes de una célula y sus funciones

Parte	Estructura	Funciones
Membrana plasmática	Bicapa lipídica (fosfolípidos, colesterol y glucolípidos) en mosaico fluido cubierta por proteínas; rodea al citoplasma.	Protege el contenido celular; toma contacto con otras células; contiene canales, transportadores, receptores, enzimas, marcadores de identidad celular y proteínas de unión; media la entrada y salida de sustancias.
Citoplasma	Contenido celular entre la membrana plasmática y el núcleo: el citosol y los orgánulos.	Sitio de todas las actividades intracelulares, excepto aquellas que se producen en el núcleo.
Citosol	Compuesto por agua, solutos, partículas en suspensión, gotitas de lípidos y gránulos de glucógeno.	Medio en el cual ocurren muchas de las reacciones metabólicas de la célula.
Orgánulos	Estructuras especializadas con formas características.	Cada orgánulo tiene funciones específicas.
Citoesqueleto	Red de tres tipos de filamentos proteicos: microfilamentos, filamentos intermedios y microtúbulos.	Mantiene la forma y organización general del contenido celular; responsable del movimiento celular.
Centrosoma	Un par de centriolos más el material pericentriolar.	El material pericentriolar contiene tubulinas, que se utilizan para el crecimiento del huso mitótico y en la formación de los microtúbulos. Los cilios mueven los fluidos sobre la superficie celular; los flagelos mueven la célula entera.
Cilios y flagelos	Proyecciones móviles de la superficie celular que contienen 20 microtúbulos y un cuerpo basal.	Síntesis de proteínas.
Ribosomas	Compuesto por dos subunidades que contienen ARN ribosómico y proteínas; puede estar libre en el citosol o adherido al RER.	El RER sintetiza glucoproteínas y fosfolípidos que son transferidos a otros orgánulos celulares, insertados en la membrana plasmática o secretados durante la exocitosis. El REL sintetiza ácidos grasos y esteroides; inactiva o detoxifica drogas; extrae grupos fosfato de la glucosa-6-fosfato y almacena y libera iones de calcio en las células musculares.
Reticulo endoplasmático (RE)	Red membranosa de sacos aplanados o túbulos. El RER está cubierto por ribosomas y se halla adherido a la envoltura nuclear; el REL carece de ribosomas.	El polo o cara de entrada ( <i>cis</i> ) capta las proteínas provenientes del RER; las cisternas medias forman glicoproteínas, glicolípidos y lipoproteínas; el polo o cara de salida ( <i>trans</i> ) modifica las moléculas aún más y luego las clasifica y envuelve para su transporte hasta su destino final.
Complejo de Golgi	Consta de 3 a 20 sacos membranosos aplanados denominados cisternas; dividido desde el punto de vista estructural y funcional en: polo de entrada ( <i>cis</i> ), cisterna medial y polo de salida ( <i>trans</i> ).	Se fusiona con el contenido de los endosomas y lo digiere, con vesículas pinocíticas y de los fagosomas, y transporta los productos finales de la digestión hacia el citosol; digiere los orgánulos dañados (autofagia), células enteras (autólisis) y materiales extracelulares.
Lisosoma	Vesícula formada por el complejo de Golgi; contiene enzimas digestivas.	Oxida los aminoácidos y ácidos grasos; detoxifica sustancias nocivas, como el alcohol; produce peróxido de hidrógeno.
Peroxisoma	Vesícula que contiene oxidasas (enzimas oxidativas) y catalasa (degrada el peróxido de hidrógeno); los peroxisomas nuevos se forman a partir de los ya existentes.	Degrada a las proteínas innecesarias, dañadas o defectuosas fragmentándolas en péptidos pequeños.
Proteasoma	Pequeñas estructuras que contienen proteasas (enzimas proteolíticas).	Sitio donde tiene lugar la respiración celular aeróbica que produce la mayor parte del ATP celular.
Mitocondrias	Consta de las membranas mitocondriales interna y externa, las crestas y la matriz; las mitocondrias nuevas se forman a partir de las preexistentes.	Los poros nucleares controlan el movimiento de sustancias entre el núcleo y el citoplasma, el nucléolo produce los ribosomas, y los cromosomas contienen genes que controlan la estructura y dirigen las funciones celulares.
Núcleo	Consta de la membrana o envoltura nuclear (con poros), el nucléolo y los cromosomas, que se presentan como masas de cromatina en las células en interfase.	

