

4

Estructura y función
de la célula

Apenas seis meses antes de tomar esta fotografía, este infante sufrió una quemadura muy severa en el tórax (véase el recuadro). En la actualidad, el tiempo de curación de estas heridas se ha reducido radicalmente y es posible eliminar casi por completo las cicatrices gracias a la piel bioartificial.

DE UN VISTAZO

ESTUDIO DE CASO: Repuestos para cuerpos humanos

4.1 ¿Qué es la teoría celular?

4.2 ¿Cuáles son las características básicas de las células?

- Las funciones de las células limitan su tamaño
- Todas las células tienen características comunes
- Hay dos tipos básicos de células: procarióticas y eucarióticas

4.3 ¿Cuáles son las características principales de las células eucarióticas?

- Las paredes celulares sirven de sostén a algunas células eucarióticas
- El citoesqueleto brinda forma, soporte y movimiento

Investigación científica: En busca de la célula

- Los cilios y flagelos mueven a la célula o a los líquidos para que éstos pasen por la célula
- El núcleo es el centro de control de la célula eucariótica

- El citoplasma eucariótico incluye un complejo sistema de membranas
- Las vacuolas desempeñan muchas funciones, como regulación del agua, soporte y almacenamiento
- Las mitocondrias extraen energía de las moléculas de alimento y los cloroplastos captan la energía solar
- Las plantas utilizan plástidos para almacenamiento

4.4 ¿Cuáles son las características principales de las células procarióticas?

- Las células procarióticas son pequeñas y poseen características superficiales especializadas
- Las células procarióticas tienen menos estructuras especializadas dentro del citoplasma

Enlaces con la vida: Huéspedes indeseables

OTRO VISTAZO AL ESTUDIO DE CASO Repuestos para cuerpos humanos



ESTUDIO DE CASO REPUESTOS PARA CUERPOS HUMANOS

“CREO QUE nunca había dado un grito tan desgarrador en mi vida.” Así recuerda la mamá de un bebé aquel día tan terrible en que el aceite hirviendo que estaba en una sartén se derramó de la estufa sobre su hijo de 10 meses y que le provocó quemaduras en el 70 por ciento del cuerpo. “De inmediato llamé al servicio de emergencia y me dijeron que quitara la ropa al bebé, pero estaba toda pegada a la piel. Le quité los calcetines y la piel se desprendió con ellos”. Si este accidente hubiera sucedido unas décadas atrás, las quemaduras habrían sido mortales. Actualmente, la única evidencia de esta quemadura en el pecho es que la piel se ve un poco arrugada. Zachary pudo sanar gracias a la maravillosa piel artificial creada por la bioingeniería.

La piel consiste en varios tipos de células especializadas con interacciones complejas. Las células exteriores (epiteliales) de la piel son maestras en la multiplicación, de manera que las quemaduras menores cicatrizan sin dejar huella. Sin embargo, si las capas interiores (dermis) se destruyen por completo, la cicatrización se produce lentamente a partir de las orillas de la herida. Las quemaduras profundas se tratan a menudo injertando piel, incluyendo la dermis que se

toma de otras partes del cuerpo; pero para las quemaduras muy extensas, la carencia de piel sana hace imposible aplicar esta técnica. Hasta hace poco, la única alternativa era utilizar la piel de cadáveres o de cerdos. En el mejor de los casos, estos tejidos sirven como “vendajes biológicos” temporales porque el cuerpo de la víctima a la larga rechaza cualquiera de esas dos aplicaciones, y esto, por lo general, deja deformaciones y cicatrices extensas.

La disponibilidad de la piel de bioingeniería ha modificado en forma radical el pronóstico de quienes sufren quemaduras. El bebé, cuya foto aparece al inicio de este capítulo, fue tratado con este tipo de piel que contiene células de piel vivas, las cuales se obtienen del prepucio de los infantes que fueron circuncidados al nacer y que donan los padres. Después de que los prepucios se someten a cultivo en el laboratorio, una sola pulgada cuadrada de tejido puede suministrar células suficientes como para producir 250,000 pies cuadrados de piel artificial. Las células crecen bajo condiciones rigurosas y se siembran en bastidores de poliéster biodegradable de apariencia esponjosa. Luego, cuando la piel artificial está completa, se congela a -70°C (-94°F), una

temperatura adecuada para que las células sobrevivan. La piel es enviada en hielo seco a los hospitales especializados en el tratamiento de pacientes con quemaduras.

Las células vivas de la piel de bioingeniería producen una variedad de proteínas, incluyendo las proteínas fibrosas que se forman en el exterior de las células de las capas normales profundas de la piel, y los factores de crecimiento celular que estimulan la regeneración de las capas más profundas de tejido y fomentan el desarrollo de nuevos vasos sanguíneos para nutrir el tejido. Conforme se va formando nuevo tejido dentro de los bastidores en el laboratorio, el poliéster se descompone en dióxido de carbono, oxígeno y agua.

La creación de la piel artificial demuestra nuestro creciente poder para manipular las células, las unidades fundamentales de la vida. Todos los seres vivos están formados de células, incluidos los tejidos y órganos que pueden resultar dañados por lesiones o enfermedades. Si en la actualidad los científicos son capaces de manipular las células para obtener piel artificial viva, ¿algún día serán capaces de esculpir las células para darles forma de huesos, hígados, riñones y pulmones?

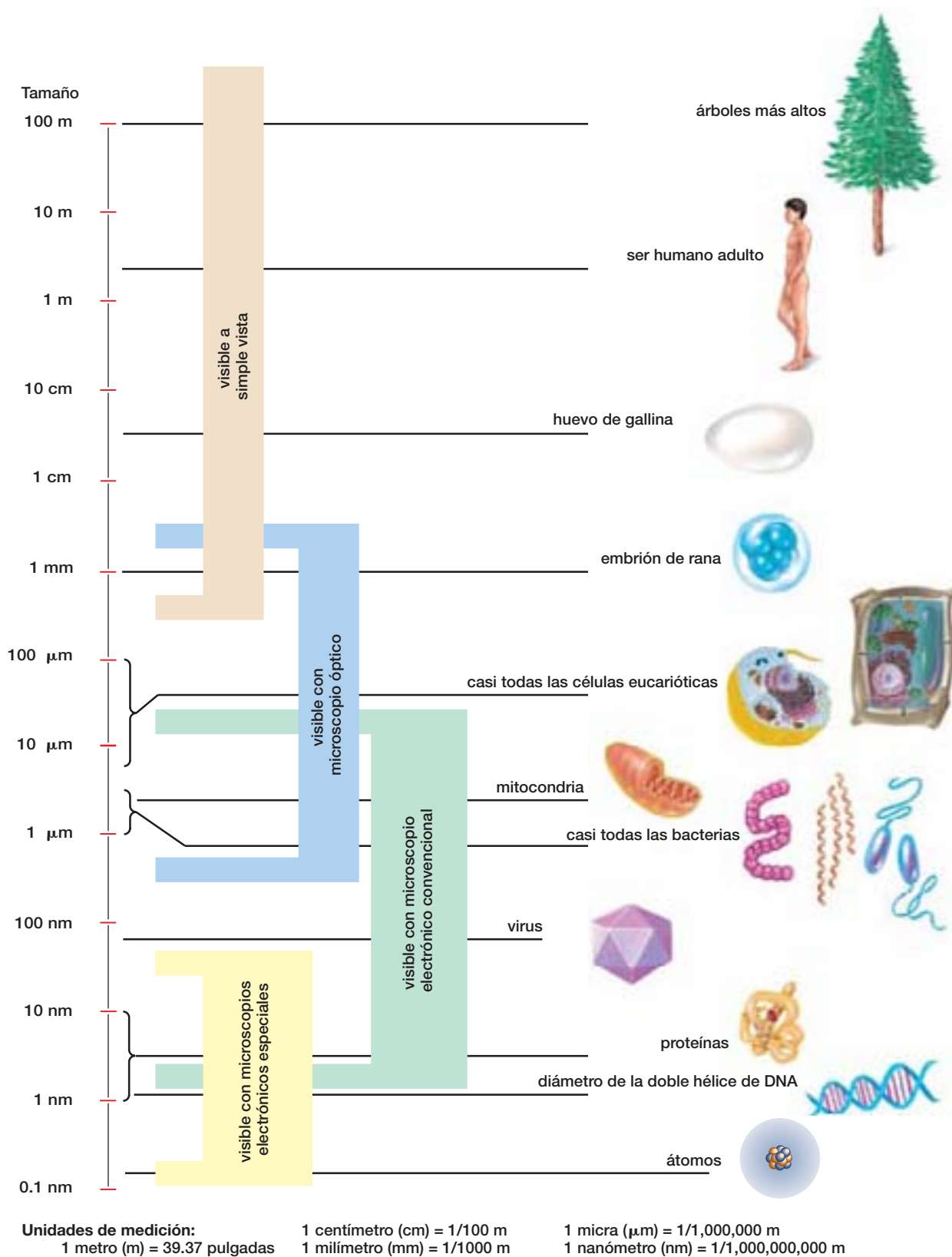


FIGURA 4-1 Tamaños relativos

Las dimensiones que suelen encontrarse en biología van desde unos 100 metros (altura de las secuoyas más altas) hasta unas cuantas micras (diámetro de la mayoría de las células) y unos cuantos nanómetros (diámetro de muchas moléculas grandes). Observa que en el sistema métrico (empleado casi exclusivamente en la ciencia en muchas regiones del mundo) se dan nombres distintos a las dimensiones que difieren en factores de 10, 100 y 1000.

4.1 ¿QUÉ ES LA TEORÍA CELULAR?

A fines de la década de 1850, el patólogo austriaco Rudolf Virchow escribió: “Todo animal aparece como un conjunto de unidades vitales, cada una de las cuales contiene todas las características de la vida”. Además, Virchow predijo: “Todas las células provienen de células”. El discernimiento de Virchow estaba basado en los cimientos establecidos por los microscopistas iniciales, como aprenderás más adelante en “Investigación científica: En busca de la célula”. Los tres principios de la teoría celular moderna, que constituyen un precepto fundamental de la biología, se derivan en forma directa de las afirmaciones de Virchow:

- Todo organismo vivo se compone de una o más células.
- Los organismos vivos más pequeños son células individuales y las células son las unidades funcionales de los organismos multicelulares.
- Todas las células nacen de células preexistentes.

Todos los seres vivos, desde las bacterias microscópicas hasta un gigantesco roble y el cuerpo humano, están compuestos de células. Mientras que cada bacteria consiste en una sola célula relativamente simple, nuestro cuerpo consta de billones de células complejas, cada una especializada en desempeñar una enorme variedad de funciones. Para sobrevivir, todas las células deben obtener energía y nutrientes de su ambiente, sintetizar una variedad de proteínas y otras moléculas necesarias para su crecimiento y reparación, y eliminar los desechos. Muchas células necesitan interactuar con otras. Para garantizar la continuidad de la vida, las células también deben reproducirse. Partes especializadas de cada célula, que describiremos en los siguientes apartados se encargan de realizar estas actividades.

4.2 ¿CUÁLES SON LAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS CÉLULAS?

Las funciones de las células limitan su tamaño

Casi todas las células miden entre 1 y 100 micras (millonésimas de metro) de diámetro (FIGURA 4-1). Como son tan pequeñas, su descubrimiento tuvo que esperar la invención del microscopio. Desde que se observaron las primeras células a fines del siglo XVII, los científicos han ideado métodos cada vez más avanzados para estudiarlas, tal como se describe en “Investigación científica: En busca de la célula”.

¿Por qué son pequeñas casi todas las células? La respuesta reside en su necesidad de intercambiar nutrientes y desechos con su ambiente exterior a través de la membrana plasmática. Como aprenderás en el capítulo 5, muchos nutrientes y desechos entran, salen o se desplazan dentro de las células por *difusión*, que es el movimiento de moléculas de lugares con alta concentración de esas moléculas a lugares con baja concentración. Este proceso relativamente lento requiere que ninguna parte de la célula esté muy retirada del ambiente exterior (véase la figura 5-17, en el siguiente capítulo).

Todas las células tienen características comunes

A pesar de su diversidad, todas las células —desde bacterias procarióticas y arqueas hasta protistas eucarióticos, hongos,

plantas y animales— tienen características comunes, como se describe en los siguientes apartados.

La membrana plasmática encierra a la célula y media las interacciones entre la célula y su ambiente

Cada célula está rodeada por una membrana fluida y extremadamente delgada llamada **membrana plasmática** (FIGURA 4-2). Como aprenderás en el capítulo 5, ésta y otras membranas dentro de las células consisten en una bicapa fosfolipídica (véase el capítulo 3) en la que está incrustada una variedad de proteínas. La membrana plasmática desempeña tres funciones principales:

- Aísla el contenido de la célula del ambiente externo.
- Regula el flujo de materiales hacia dentro y hacia fuera de la célula.
- Permite la interacción con otras células y con el entorno extracelular.

Los componentes fosfolipídicos y proteicos de las membranas celulares desempeñan diferentes funciones. Cada fosfolípido tiene una cabeza hidrofílica (término que etimológicamente significa “amante del agua”), que mira hacia el interior o el exterior acuoso de la membrana. Aunque algunas moléculas pequeñas —incluidas las de oxígeno, dióxido de carbono y agua— son capaces de difundirse a través de ella, la bicapa fosfolipídica (que se refiere a la doble capa de moléculas) forma

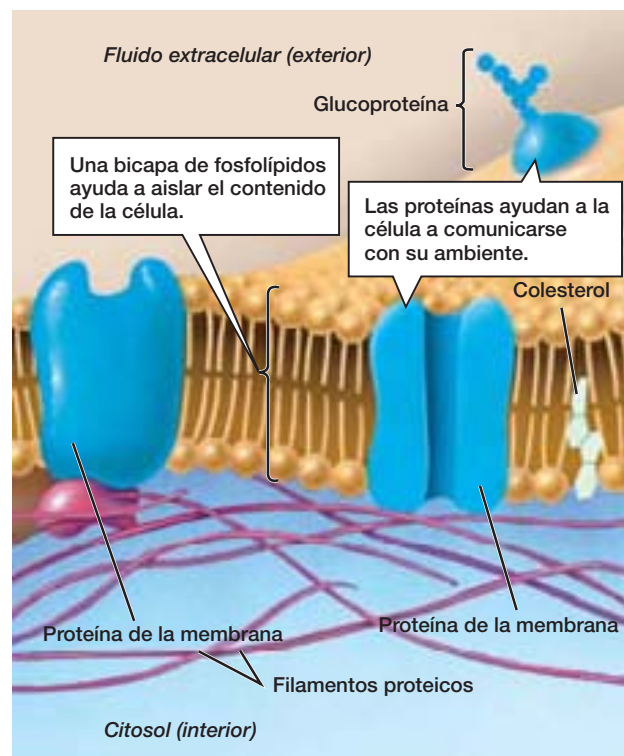


FIGURA 4-2 La membrana plasmática

La membrana plasmática encierra a la célula. Su estructura, parecida a la de todas las membranas celulares, consiste en una doble capa de moléculas fosfolipídicas en la cual están incrustadas diversas proteínas.

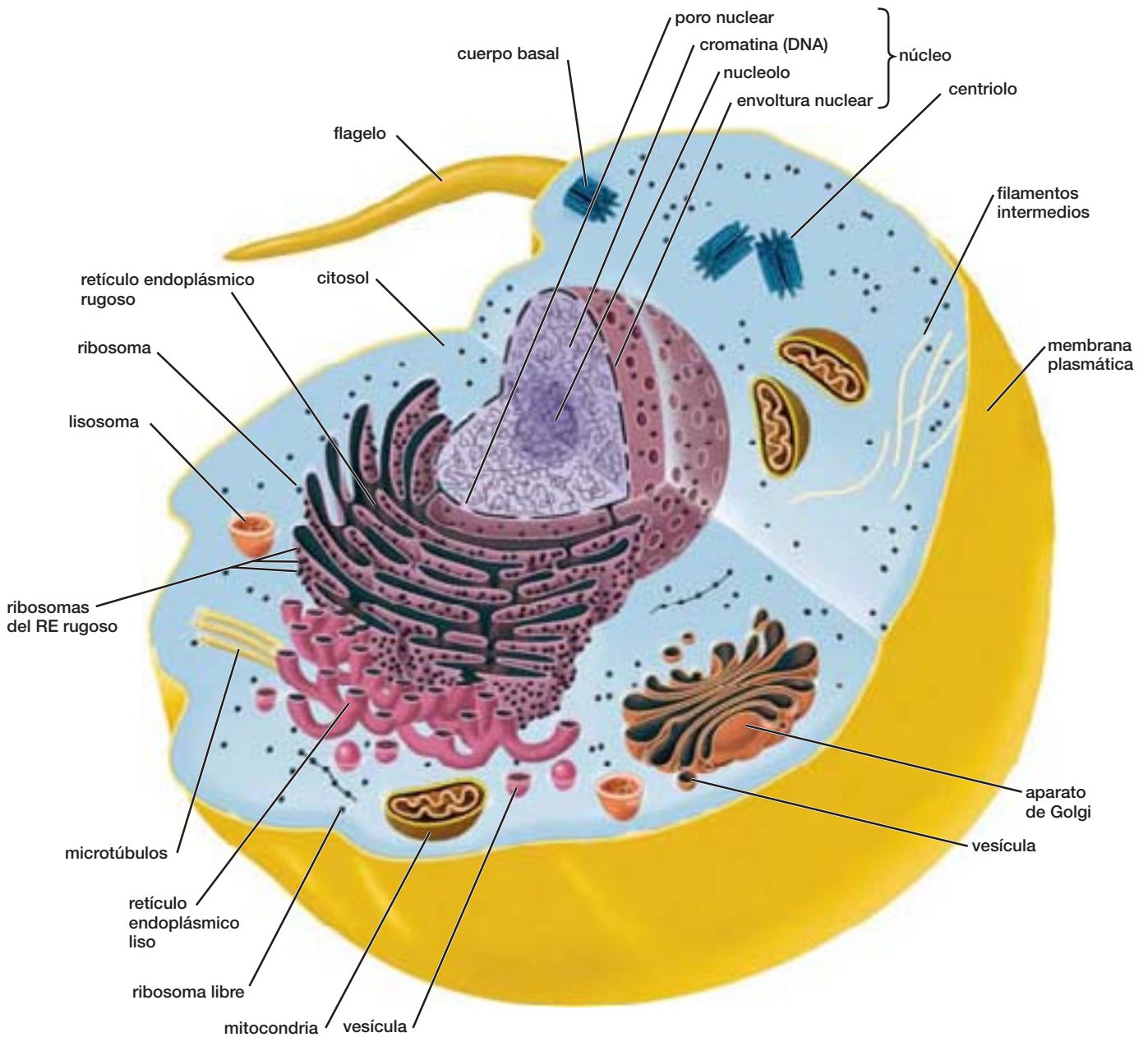


FIGURA 4-3 Una célula animal representativa

Todas las células contienen citoplasma

El **citoplasma** está formado por todo el material y estructuras que residen dentro de la membrana plasmática, pero fuera de la región de la célula que contiene DNA (**FIGURAS 4-3 y 4-4**). La porción fluida del citoplasma en las células procarióticas y eucarióticas, llamada **citocitol**, contiene agua,

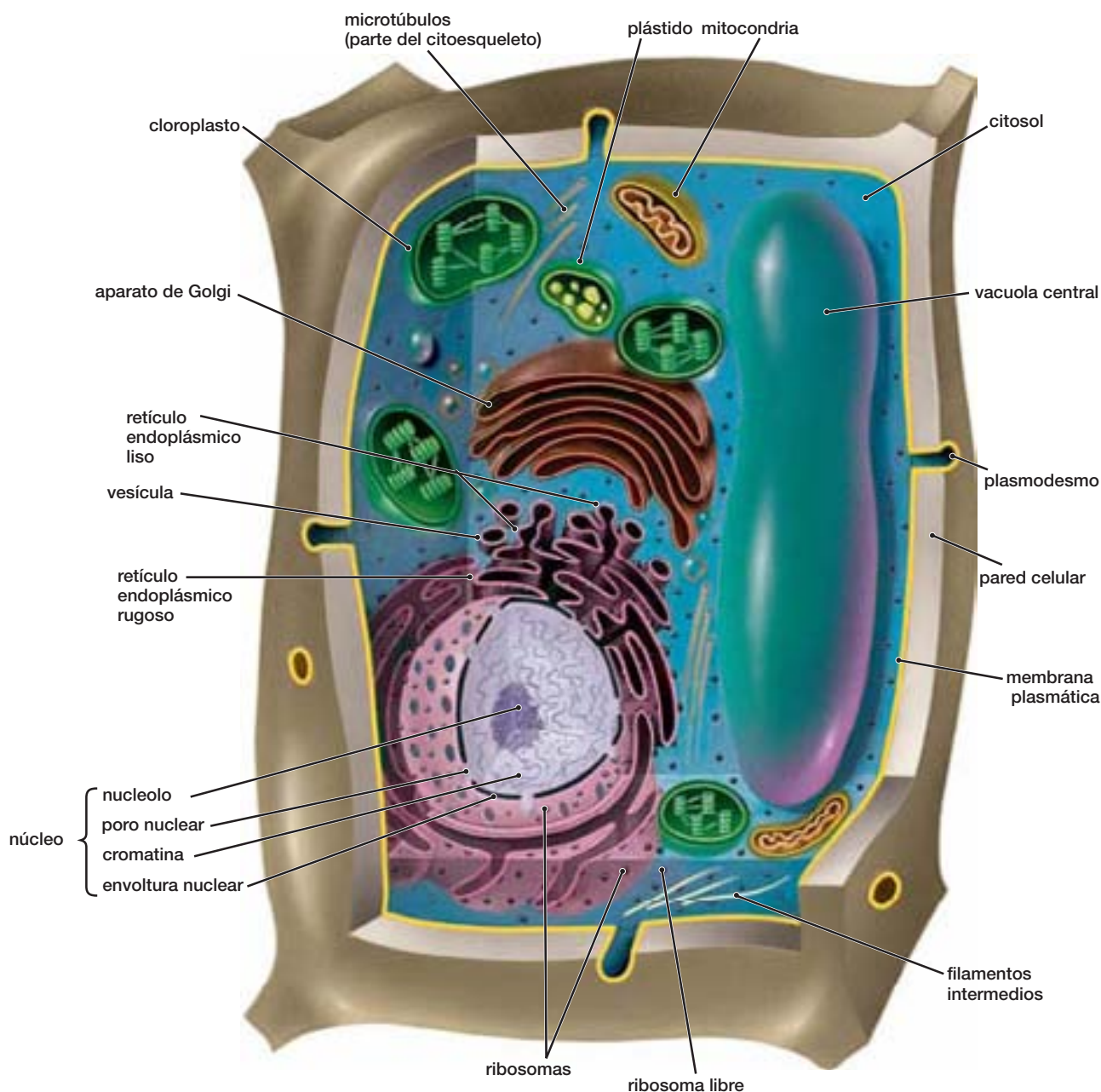


FIGURA 4-4 Una célula vegetal representativa

las estructuras especiales llamadas *ribosomas*, que se encuentran en el citoplasma de todas las células. Los diversos tipos de proteínas sintetizadas por las células incluyen aquellas que se encuentran en las membranas celulares y enzimas que permiten que ocurran las reacciones metabólicas, como veremos en el capítulo 6.

Todas las células usan el DNA como plano de la herencia y el RNA para copiar y ejecutar la instrucción

Cada célula contiene material genético, un plano heredado que almacena las instrucciones para hacer todas las demás partes de la célula y producir nuevas células. El material genético de todas las células es el **ácido desoxirribonucleico**

que se estudiará en forma detallada en el capítulo 9, contiene genes que consisten en secuencias precisas de nucleótidos (véase el capítulo 3). Durante la división celular, las “células madre” u originales, transmiten copias exactas de su DNA a su descendencia o “células hijas”. El **ácido ribonucleico** (*ribonucleic acid, RNA*) está químicamente relacionado con el DNA y tiene varias formas que copian el plano de los genes del DNA, por lo que ayuda a construir proteínas tomando como base ese plano. Todas las células contienen RNA.

Todas las células obtienen energía y nutrientes de su ambiente

caremos en los capítulos 6, 7 y 8, prácticamente toda la energía que impulsa la vida en la Tierra proviene de la luz solar. Las células que pueden captar esta energía directamente la suministran para casi todas las demás formas de vida. Los bloques de construcción de las moléculas biológicas, como el carbono, nitrógeno, oxígeno y diversos minerales, provienen en última instancia del ambiente: el aire, el agua, las rocas y otras formas de vida. Todas las células obtienen los materiales para generar las moléculas de la vida y la energía para sintetizarlas, de su ambiente vivo y del inanimado.

Hay dos tipos básicos de células: procarióticas y eucarióticas

Todas las formas de vida se componen de sólo dos tipos diferentes y fundamentales de células. Las **células procarióticas**

(término que proviene del griego y significa “antes del núcleo”; véase la figura 4-20a) forman los “cuerpos” de **bacterias** y **arqueas**, las formas de vida más simples sobre la Tierra. Las **células eucarióticas** (que proviene del griego y significa “núcleo verdadero”; véase las figuras 4-3 y 4-4) son mucho más complejas y se encuentran en cuerpos de animales, plantas, hongos y protistas. Como implican sus nombres, una diferencia notable entre las células procarióticas y las eucarióticas es el hecho de que el material genético de las células eucarióticas está contenido dentro de un núcleo encerrado por una membrana. En contraste, el material genético de las células procarióticas no está contenido dentro de una membrana. Otras estructuras encerradas por membrana, llamadas *organelos*, contribuyen a la mayor complejidad estructural de las células eucarióticas. La **tabla 4-1** resume las características de las células procarióticas y eucarióticas, las cuales explicaremos en los siguientes apartados.

Tabla 4-1 Funciones y distribución de las estructuras celulares

Estructura	Función	Procariotas	Eucariotas: plantas	Eucariotas: animales
Superficie celular				
Pared celular	Protege y da soporte a la célula	presente	presente	ausente
Cilios	Mueven la célula mediante fluidos o hacen pasar fluido por la superficie celular	ausente	ausente	presente
Flagelos	Mueven la célula mediante fluidos	presente ¹	presente ²	presente
Membrana plasmática	Aísla el contenido de la célula del ambiente; regula el movimiento de materiales hacia dentro y fuera de la célula; comunica con otras células	presente	presente	presente
Organización del material genético				
Material genético	Codifica información necesaria para construir la célula y controlar la actividad celular	DNA	DNA	DNA
Cromosomas	Contienen y controlan el uso de DNA	Únicos, circulares, sin proteínas	Muchos, lineales, con proteínas	Muchos, lineales, con proteínas
Núcleo	Contiene cromosomas, está delimitado por una membrana	ausente	presente	presente
Envoltura nuclear	Encierra al núcleo, regula el movimiento de materiales hacia dentro y fuera del núcleo	ausente	presente	presente
Nucleolo	Sintetiza ribosomas	ausente	presente	presente
Estructuras citoplásmicas				
Mitocondrias	Producen energía por metabolismo aeróbico	ausente	presente	presente
Cloroplastos	Realizan fotosíntesis	ausente	presente	ausente
Ribosomas	Sitio para la síntesis de proteínas	presente	presente	presente
Retículo endoplásmico	Sintetiza componentes de la membrana, proteínas y lípidos	ausente	presente	presente
Aparato de Golgi	Modifica y empaca proteínas y lípidos; sintetiza algunos carbohidratos	ausente	presente	presente
Lisosomas	Contienen enzimas digestivas intracelulares	ausente	presente	presente
Plástidos	Almacenan alimento y pigmentos	ausente	presente	ausente
Vacuola central	Contiene agua y desechos; brinda presión de turgencia como soporte de la célula	ausente	presente	ausente
Otras vesículas y vacuolas	Transportan productos de secreción; contienen alimentos obtenidos mediante fagocitosis	ausente	presente	presente
Citoesqueleto	Da forma y soporte a la célula; coloca y mueve partes de la célula	ausente	presente	presente
Centriolos	Producen los microtúbulos de cilios y flagelos, y aquellos que forman el huso durante la división de las células animales	ausente	ausente (en casi todos)	presente

¹Algunos procariotas tienen estructuras llamadas *flagelos*, pero éstos no están hechos de microtúbulos y se mueven fundamentalmente de manera distinta de como lo hacen los flagelos de las células eucarióticas.

²Unos cuantos tipos de plantas tienen esperma flagelado.

4.3 ¿CUÁLES SON LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CÉLULAS EUCARIÓTICAS?

Las células eucarióticas se localizan en animales, plantas, protistas y hongos, así que, como podrás imaginar, estas células son extremadamente diversas. Dentro del cuerpo de cualquier organismo multicelular existe una variedad de células eucarióticas especializadas en desempeñar diferentes funciones. En contraste, los organismos unicelulares de los protistas y de algunos hongos deben ser lo suficientemente complejos como para realizar todas las actividades necesarias que permiten la vida, el crecimiento y la reproducción de manera independiente. Aquí hacemos énfasis en las células de las plantas y animales; la estructura especializada de los protistas y hongos se explicará con mayor detalle en los capítulos 20 y 22, respectivamente.

Las células eucarióticas difieren de las procarióticas en muchos aspectos. Por ejemplo, las células eucarióticas, por lo regular, son más grandes que las procarióticas, ya que suelen medir más de 10 micras de diámetro. El citoplasma de las células eucarióticas alberga una diversidad de **organelos**, que son estructuras encerradas dentro de membranas que realizan funciones específicas dentro de la célula, como el núcleo y las mitocondrias. El **citoesqueleto**, una red de fibras proteicas, da forma y organización al citoplasma de las células eucarióticas. Muchos de los organelos están adheridos al citoesqueleto.

Las figuras 4-3 y 4-4 ilustran las estructuras que se encuentran en las células de animales y vegetales, respectivamente, aunque pocas células individuales poseen todos los elementos que se muestran en estas imágenes. Cada tipo de célula tiene unos cuantos organelos únicos que no se encuentran en el otro. Las células vegetales, por ejemplo, están rodeadas por una *pared celular*, y contienen cloroplastos, plástidos y una vacuola central. Solamente las células animales poseen centriolos. Resultará útil consultar estas ilustraciones conforme describamos las estructuras de la célula con mayor detalle. Los componentes principales de las células eucarióticas (véase la tabla 4-1) se explican con mayor detalle en los siguientes apartados.

Las paredes celulares sirven de sostén a algunas células eucarióticas

Las superficies exteriores de las plantas, hongos y algunos protistas tienen recubrimientos relativamente rígidos y sin vida que se llaman paredes celulares, las cuales soportan y protegen la delicada membrana plasmática. Los protistas unicelulares que viven en el océano pueden tener estas paredes hechas de celulosa, proteínas y silicio brillante (véase el capítulo 20). Las paredes celulares de las plantas están compuestas de celulosa y otros *polisacáridos*, mientras que las paredes celulares de los hongos están hechas de polisacáridos y quitina (un polisacárido modificado, que se describió en el capítulo 3). Las células procarióticas también tienen paredes celulares, hechas de un armazón parecido a la quitina al cual se adhieren las cadenas cortas de aminoácidos y otras moléculas.

Las paredes celulares son producidas por las células a las que rodean. Las células vegetales secretan celulosa a través

de sus membranas plasmáticas formando así la *pared celular primaria*. Muchas células vegetales, cuando maduran y cesa su crecimiento, secretan más celulosa y otros polisacáridos debajo de la pared primaria para formar una *pared celular secundaria*, empujando a la pared celular primaria lejos de la membrana plasmática. Las paredes celulares primarias de las células contiguas se unen por medio de la *laminilla intermedia*, una capa hecha principalmente del polisacárido *pectina* (FIGURA 4-5). Si alguna vez has preparado o disfrutado de la jalea de fruta, entonces te interesará saber que la pectina de las paredes celulares de la fruta es la que le da la consistencia de jalea.

Las paredes celulares soportan y protegen a las células que de otra manera serían frágiles. Por ejemplo, las paredes celulares permiten a las plantas y setas resistir la fuerza de la gravedad y del viento y permanecer erguidas en el suelo. Los troncos de los árboles, compuestos en la mayor parte de celulosa y otros materiales que se forman a lo largo del tiempo y que son capaces de soportar cargas excesivas, son una prueba contundente de la resistencia de las paredes celulares.

Las paredes celulares por lo general son porosas, lo que permite al oxígeno, dióxido de carbono y agua, junto con las moléculas disueltas, moverse con facilidad a través de ellas. La estructura que rige las interacciones entre una célula y su ambiente exterior es la membrana plasmática, la cual está situada justo debajo de la pared celular (cuando ésta existe). La membrana plasmática se explicó al inicio de este capítulo y se explicará a fondo en el capítulo 5.

El citoesqueleto brinda forma, soporte y movimiento

Los organelos y otras estructuras dentro de las células eucarióticas no se desplazan a la deriva o de manera aleatoria alrededor del citoplasma; la mayoría de ellos están adheridos al armazón de las fibras proteicas que forma el citoesqueleto (FIGURA 4-6). Incluso las enzimas individuales, que a menudo

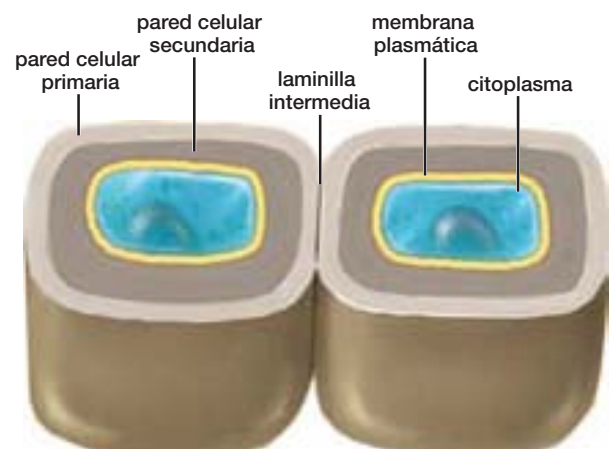


FIGURA 4-5 Paredes de células vegetales

Las paredes celulares primaria y secundaria están hechas principalmente de celulosa. Las células en crecimiento tienen sólo una pared celular primaria flexible. Algunas células vegetales, cuando llegan a la madurez, secretan la pared celular secundaria, que es más rígida. Las células contiguas están unidas por una laminilla intermedia hecha de pectina.

La comprensión humana de la naturaleza celular de la vida llegó lentamente. En 1665, el científico e inventor inglés Robert Hooke informó sobre sus observaciones con un microscopio rudimentario. Dirigió este instrumento a un “trozo de corcho... extremadamente delgado” y vio una “multitud de cajitas” (**FIGURA E4-1a**). Hooke llamó “células” (celdillas) a estas pequeñas cajas porque pensó que se parecían a los diminutos cuartos, o celdas, donde habitaban los monjes. El corcho proviene de la corteza exterior seca del alcornoque, una especie de roble, y ahora sabemos que lo que Hooke observó fueron las paredes celulares sin vida que rodean a todas las células vegetales. Hooke escribió que en los robles vivos y otras plantas, “estas células están llenas de jugos”.

En la década de 1670, el microscopista holandés Anton Van Leeuwenhoek construyó microscopios simples para observar un mundo hasta entonces desconocido. Como era un científico aficionado autodidacta, sus descripciones de la miríada de “animáculos” (como llamaba a los protistas) que viven en el agua de lluvia, de estanques o de pozos, causó gran conmoción porque en esos días el agua se consumía sin someterla a ningún trata-

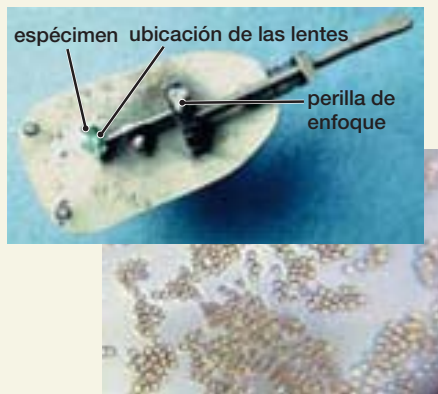
miento. Con el tiempo, Van Leeuwenhoek hizo cuidadosas observaciones de una extensa gama de especímenes microscópicos, como glóbulos rojos, espermatozoides y huevecillos de insectos pequeños, como gorgojos, pulgones y pulgas. Sus descubrimientos asestaron un duro golpe a la creencia común en la generación espontánea; en esa época se creía que las pulgas ¡salían espontáneamente de la arena o del polvo, y los gorgojos de los granos! Aunque los microscopios fabricados por Van Leeuwenhoek parecían ser más rudimentarios que los de Hooke, daban imágenes más claras y mayor amplificación (**FIGURA E4-1b**).

Transcurrió más de un siglo antes de que los biólogos empezaran a comprender el papel que desempeñan las células en la vida de nuestro planeta. Los microscopistas notaron primero que muchas plantas constan en su totalidad de células. La gruesa pared que rodea a todas las células vegetales, que Hooke vio por primera vez, facilitó sus observaciones. Sin embargo, no fue posible observar las células animales sino hasta la década de 1830, cuando el zoólogo alemán Theodor Schwann vio que el cartilago contiene células que “se parecen notoriamente a las

a) Microscopio del siglo XVII y células de corcho



b) Microscopio de Van Leeuwenhoek



células sanguíneas fotografiadas a través del microscopio de Van Leeuwenhoek

c) Microscopio electrónico



FIGURA E4-1 Microscopios de ayer y hoy

a) Dibujos de las células del corcho hechos por Robert Hooke, según lo que vio con uno de los primeros microscopios ópticos, similar al que se muestra aquí. Sólo se distinguen las paredes celulares. **b)** Uno de los microscopios de Van Leeuwenhoek y la fotografía de células sanguíneas tomada a través de uno de ellos. El espécimen se observa a través de un pequeño orificio situado justo debajo de la lente. **c)** Este microscopio electrónico es capaz de realizar tanto el barrido como la transmisión de la microscopía electrónica.

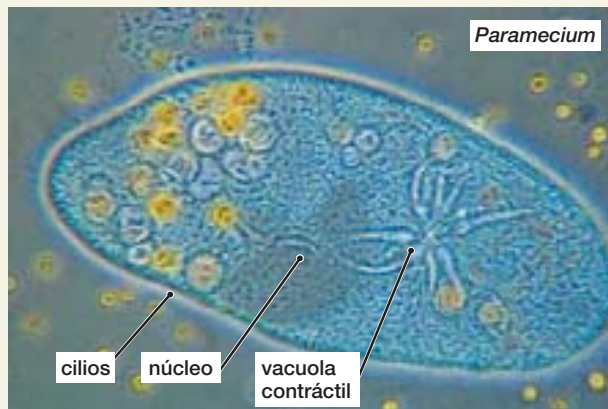
células de las plantas". En 1839, después de años de estudiar las células, Schwann se sintió lo bastante confiado como para publicar su *teoría celular*, que consideraba a las células como partículas elementales, tanto de plantas como de animales. Para mediados del siglo XIX, el botánico alemán Matthias Schleiden refinó aún más la concepción científica de las células cuando escribió: "Es... fácil percibir que el proceso vital de las células individuales debe constituir la primera y absolutamente indispensable base fundamental [de la vida]."

A partir de los esfuerzos, precursores de Robert Hooke y Anton van Leeuwenhoek, los biólogos, físicos e ingenieros han colaborado en la invención de diversos microscopios avanzados para estudiar la célula y sus componentes.

Los *microscopios ópticos* usan lentes, casi siempre de vidrio, para enfocar los rayos de luz que pasan a través de un espécimen, o bien, que rebotan en éste, amplificando así la imagen. Estos microscopios ofrecen una amplia gama de imágenes, dependiendo de cómo se ilumine el espécimen y de si se le ha teñido o no (FIGURA E4-2a). El *poder de resolución* de los

microscopios ópticos, es decir, la estructura más pequeña que puede verse, es de aproximadamente 1 micra (una millonésima de metro).

Los *microscopios electrónicos* (FIGURA E4-1c) utilizan haces de electrones en vez de luz, que se enfocan por medio de campos magnéticos y no de lentes. Algunos tipos de microscopios electrónicos permiten observar estructuras de unos cuantos nanómetros (mil millonésimas de metro). Los *microscopios electrónicos de transmisión* (*transmission electron microscopes*, TEM) hacen pasar electrones a través de un espécimen delgado y pueden revelar los detalles de la estructura celular interna, incluidos los organelos y las membranas plasmáticas (FIGURA E4-2b). Los *microscopios electrónicos de barrido* (*scanning electron microscopes*, SEM) rebotan electrones en especímenes que se han recubierto con metales y ofrecen imágenes tridimensionales. Estos SEM permiten observar los detalles superficiales de estructuras cuyo tamaño varía desde insectos enteros hasta células e incluso organelos (FIGURA E4-2c,d).



a) Microscopio óptico

60 micras



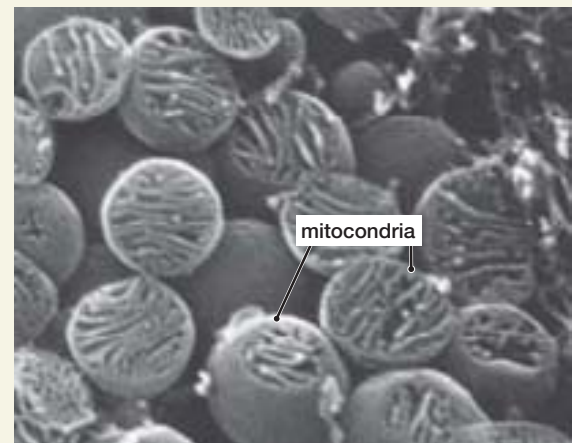
b) Microscopio electrónico de transmisión

1.5 micras



c) Microscopio electrónico de barrido

70 micras



d) Microscopio electrónico de barrido

0.5 micras

FIGURA E4-2 Comparación de imágenes microscópicas

a) *Paramecium* vivo (protista unicelular de agua dulce) visto a través de un microscopio óptico. b) Fotografía por TEM con color falso de un *Paramecium*, que muestra las secciones de las mitocondrias y de las bases de los cilios que cubren a esta asombrosa célula. c) Fotografía por SEM de algunos ejemplares de *Paramecium*, cubiertos de cilios. d) Fotografía por SEM con una amplificación mucho mayor, que muestra las mitocondrias (a muchas de las cuales se realizó un corte dentro del citoplasma).

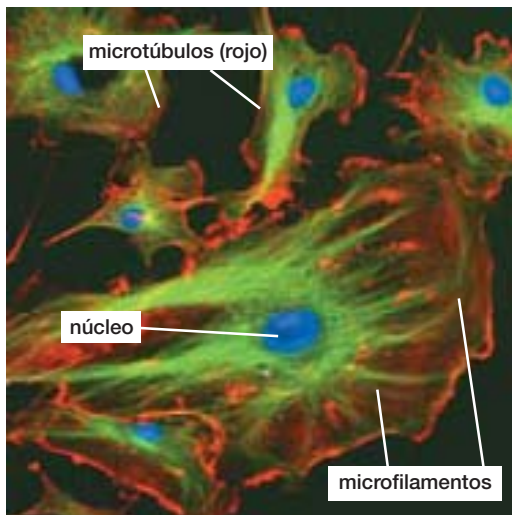
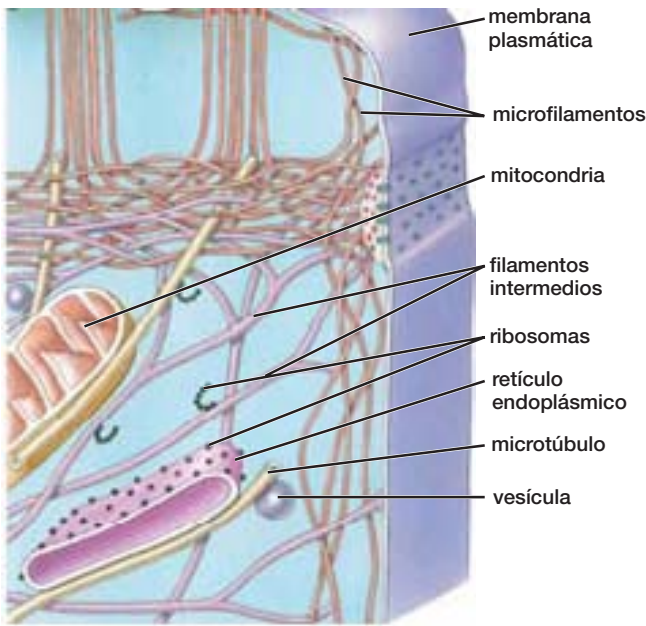


FIGURA 4-6 El citoesqueleto

El citoesqueleto le da forma y organización a las células eucarióticas; está formado por tres tipos de proteínas: microtúbulos, filamentos intermedios y microfilamentos. **b)** Esta célula del revestimiento de la arteria de una vaca ha sido tratada con tinturas fluorescentes para observar los microtúbulos, los microfilamentos y el núcleo.

forman parte de vías metabólicas complejas, pueden sujetarse en secuencia al citoesqueleto, de manera que las moléculas logran pasar de una enzima a la siguiente en un orden correcto para una transformación química particular. Varios tipos de fibras proteicas, incluidas los **microfilamentos** delgados, los **filamentos intermedios** de grosor mediano, y los **microtúbulos**



FIGURA 4-7 Cilios y flagelos

Tanto los cilios como los flagelos contienen microtúbulos dispuestos en un anillo externo de nueve pares fusionados de microtúbulos que rodean a un par central no fusionado. Los pares externos tienen "brazos" hechos de proteína que interactúan con los pares contiguos para brindar la fuerza necesaria que permita la flexión. Los cilios y flagelos nacen de los cuerpos basales ubicados justo debajo de la membrana plasmática.

- **Da forma a la célula.** En las células sin pared celular, el citoesqueleto, en especial la red de filamentos intermedios, determina la forma de la célula.
- **Movimiento celular.** El ensamblado, desensamblado y deslizamiento de los microfilamentos y microtúbulos producen el movimiento celular. Ejemplos del movimiento celular incluyen el desplazamiento de los protistas unicelulares por medio de sus cilios, el nado del espermatozoide y la contracción de las células musculares.
- **Movimiento de organelos.** Los microtúbulos y microfilamentos mueven organelos de un lugar a otro dentro de la célula. Por ejemplo, los microfilamentos se adhieren a las vesículas formadas durante la *endocitosis*, cuando la membrana plasmática envuelve partículas grandes, y tiran de esas vesículas para introducir las en la célula (véase el capítulo 5). Las vesículas estranguladas por el *retículo endoplásmico* (RE) y el *aparato de Golgi* probablemente son guiadas también por el citoesqueleto.
- **División celular**

den, unos microtúbulos llevan los *chromosomas* (paquetes de material genético) a los núcleos hijos. Segundo, las células animales se dividen cuando se contrae un anillo de microfilamentos, estrangulando a la célula progenitora “madre” alrededor de la “cintura” para formar dos nuevas células “hijas”. Los **centriolos** (véase la figura 4-3), que forman el huso que ayuda a la distribución del material genético durante la división celular animal, están constituidos por microtúbulos. La división celular se explica con mayor detalle en el capítulo 11.

Los cilios y flagelos mueven a la célula o a los líquidos para que éstos pasen por la célula

Tanto los **cilios** (del latín, “pestañas”) como los **flagelos** (“látigos”) son delgadas extensiones de la membrana plasmática, soportadas internamente por los microtúbulos del citoesqueleto. Cada cilio y flagelo contiene un anillo de nueve pares de microtúbulos, con otro par en el centro (FIGURA 4-7). Estos microtúbulos, que se extienden en toda la longitud del cilio o flagelo, se dirigen hacia arriba desde un **cuerpo basal** (derivado de un centriolo; véase la figura 4-3) anclado justo debajo de la membrana plasmática.

Diminutos “brazos” proteicos unen a los pares adyacentes de microtúbulos de los cilios y flagelos. Cuando estos brazos se flexionan, deslizan un par de microtúbulos respecto a los pares adyacentes, lo que hace que el cilio o el flagelo se mueva. La energía liberada por el trifosfato de adenosina (ATP) hace posible el movimiento de los “brazos” proteicos durante el deslizamiento de los microtúbulos. Los cilios y flagelos a menudo se mueven de forma casi continua; las mitocondrias, que normalmente abundan cerca de los cuerpos basales, suministran la energía para impulsar este movimiento.

Las principales diferencias entre los cilios y flagelos radican en su longitud, número y dirección de la fuerza que generan. Por lo regular, los cilios son más cortos y más numerosos que los flagelos e imparten una fuerza en dirección paralela a la membrana plasmática, como los remos de una lancha. Esto se logra mediante un movimiento de “remado” (FIGURA 4-8a, izquierda). Los flagelos son más largos y menos numerosos e imparten una fuerza perpendicular a la membrana plasmática, como la hélice de una lancha de motor (FIGURA 4-8b, izquierda).

Algunos organismos unicelulares, como el *Paramecium* (véase la figura E4-2a, c), utilizan cilios para nadar en el agua; otros utilizan flagelos. Algunos invertebrados acuáticos pequeños nadan al batir, en forma coordinada, sus hileras de cilios como los remos de las antiguas galeras romanas. Los cilios animales, por lo general, desplazan los fluidos y las partículas suspendidas para hacerlos pasar por una superficie. Las células ciliadas revisten estructuras tan diversas como las branquias de los ostiones (donde mueven sobre éstas el agua rica en alimento y oxígeno), los oviductos de las hembras de mamíferos (donde desplazan los óvulos del ovario al útero a través de fluidos), y las vías respiratorias de casi todos los vertebrados terrestres (despejando el moco que lleva residuos y microorganismos de la tráquea y pulmones; figura 4-8a, derecha). Casi todos los espermatozoides de animales y algunos tipos de las células espermáticas vegetales dependen de los flagelos para moverse (figura 4-8b, derecha).

El núcleo es el centro de control de la célula eucariótica

El DNA de una célula almacena toda la información necesaria para construir ésta y dirigir las innumerables reacciones

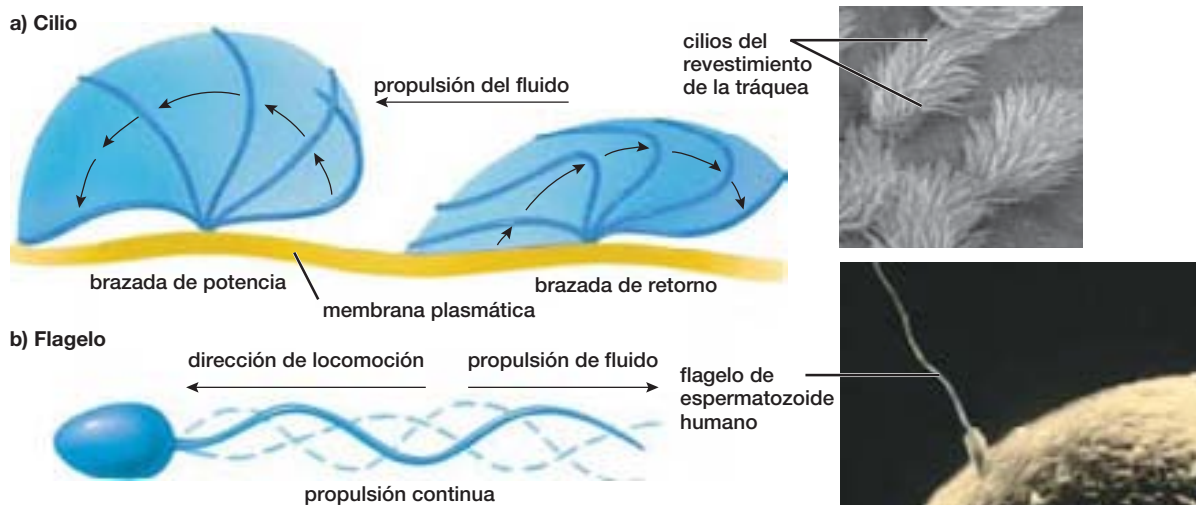
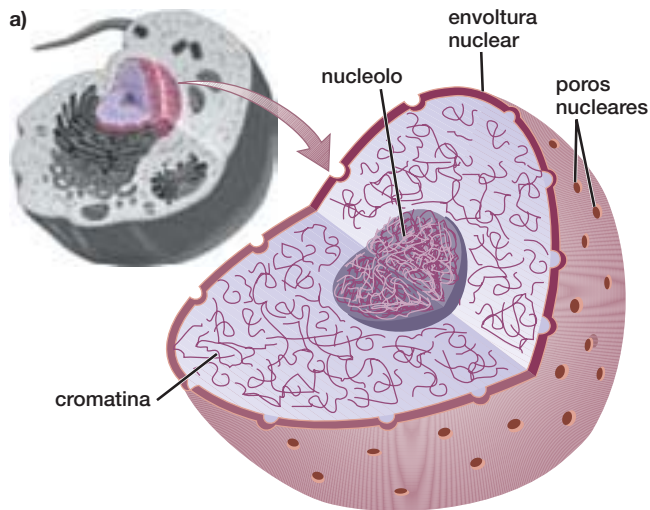


FIGURA 4-8 Cómo se mueven los cilios y flagelos

a) (Izquierda) Los cilios normalmente “reman”, impartiendo un movimiento paralelo a la membrana plasmática. Su movimiento se asemeja a los brazos de una persona cuando nada con brazada de pecho. (Derecha) Fotografía por SEM de los cilios que revisten la tráquea (la cual conduce aire a los pulmones); estos cilios expulsan el moco y las partículas atrapadas. **b)** (Izquierda) Los flagelos tienen un movimiento ondulatorio y dan propulsión continua perpendicular a la membrana plasmática. De esta forma, un flagelo unido a un espermatozoide puede impulsarlo hacia delante. (Derecha) Espermatozoide humano en la superficie de un óvulo.



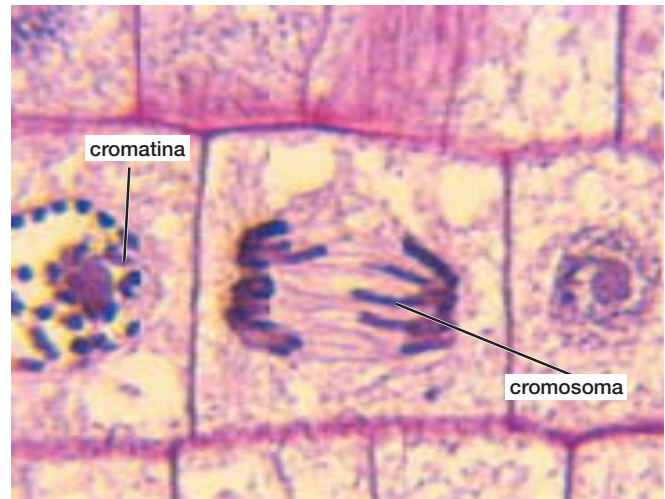
b)

**FIGURA 4-9 El núcleo**

El núcleo está delimitado por una doble membrana exterior. En el interior hay cromatina y un nucleolo. **b)** Micrografía electrónica de una célula de levadura que se congeló y rompió para revelar sus estructuras internas. Se distingue con claridad el enorme núcleo y los poros que penetran su membrana nuclear. Las estructuras de color rosa son las “proteínas guardianes” que revisten los poros.

químicas necesarias para la vida y la reproducción. La célula emplea la información genética del DNA en forma selectiva, dependiendo de su etapa de desarrollo, de las condiciones de su ambiente y de su función en un cuerpo multicelular. En las células eucarióticas, el DNA se aloja dentro del núcleo.

El **núcleo** es un organelo (comúnmente el más grande de la célula) que consta de tres partes principales: *envoltura nuclear*, *cromatina* y *nucleolo*, que se muestran en la **FIGURA 4-9**

**FIGURA 4-10 Cromosomas**

Los cromosomas, visibles aquí en una micrografía óptica de una célula que se divide en la punta de una raíz de cebolla, contienen el mismo material (DNA y proteínas), pero en un estado más compacto, que la cromatina que se observa en las células adyacentes, que no están en proceso de división.

La envoltura nuclear permite el intercambio selectivo de materiales

El núcleo se aísla del resto de la célula por medio de una **envoltura nuclear** que consta de una doble membrana, la cual está perforada por diminutos canales revestidos de membrana que reciben el nombre de *poros nucleares*. El agua, iones y moléculas pequeñas como las de ATP pueden pasar libremente por tales poros, pero el paso de moléculas grandes sobre todo de proteínas, trozos de ribosomas y RNA se regula mediante “proteínas portero” que revisten cada poro nuclear. La membrana nuclear exterior tiene ribosomas incrustados y es continuación de las membranas del retículo endoplásmico rugoso, que explicaremos más adelante (véase las figuras 4-3 y 4-4).

La cromatina consta de DNA, que codifica la síntesis de proteínas

Puesto que el núcleo adquiere un color intenso con los tintes comunes empleados en la microscopia óptica, los primeros investigadores en esta rama, al desconocer su función, llamaron **cromatina** al material nuclear, que significa “sustancia coloreada”. Los biólogos, desde entonces, han descubierto que la cromatina consta de DNA asociado con proteínas. El DNA eucariótico y sus proteínas asociadas forman largas cadenas llamadas **cromosomas** (“cuerpos coloreados”). Cuando las células se dividen, cada cromosoma se enrolla y se vuelve más grueso y corto. Los cromosomas “condensados” resultantes se pueden ver con facilidad aun con microscopios ópticos (**FIGURA 4-10**

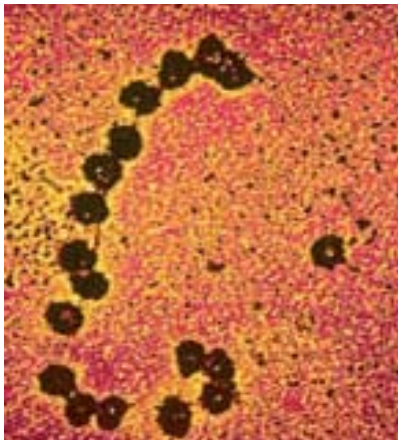


FIGURA 4-11 Ribosomas

Los ribosomas pueden encontrarse libres en el citoplasma, ya sea solos o ensartados en moléculas de RNA mensajero, cuando participan en la síntesis de proteínas, como se observa en esta micrografía electrónica. También hay ribosomas incrustados al retículo endoplásmico rugoso (véase la FIGURA 4-12).

nas celulares, y otras más son enzimas que promueven las reacciones químicas dentro de la célula, que son responsables del crecimiento y la reparación, de la adquisición y uso de nutrientes y de energía, así como de la reproducción.

Puesto que las proteínas se sintetizan en el citoplasma, las copias del plano de proteínas en el DNA deben transportarse a través de la membrana nuclear hacia el interior del citoplas-

ma. Para realizar esto, se copia la información genética del DNA en moléculas de RNA (llamadas *RNA mensajeras* o *mRNA*), que en la FIGURA 4-11 se ven uniéndose a una serie de ribosomas, que se desplazan a través de los poros de la envoltura nuclear hacia el citoplasma. Esta información, codificada por la secuencia de los nucleótidos del *mRNA* (también designado como RNAm), se utiliza entonces para dirigir la síntesis de proteínas celulares, un proceso que se realiza en los ribosomas, compuestos de *RNA ribosómico* y proteínas. En el capítulo 10 veremos con más amplitud estos procesos.

Los ribosomas se ensamblan en el nucleolo

Los núcleos eucarióticos tienen una o más regiones que se tiñen de color oscuro, llamadas *nucleolos* (“pequeños núcleos”; véase la figura 4-9a). Los nucleolos son los sitios donde se realiza la síntesis de los ribosomas. El **nucleolo** consiste en RNA ribosómico, proteínas, ribosomas en diversas etapas de síntesis y DNA (con genes que especifican cómo sintetizar el RNA ribosómico).

Un **ribosoma** es una pequeña partícula compuesta de RNA y proteínas que sirve como una especie de “banco de trabajo” para la síntesis de proteínas dentro del citoplasma celular. Así como un banco de trabajo sirve para construir muchos objetos distintos, un ribosoma puede utilizarse para sintetizar cualquiera de los miles de proteínas que una célula produce. En las micrografías electrónicas, los ribosomas aparecen como gránulos oscuros, ya sea distribuidos en el citoplasma (figura 4-11) o apiñados en las membranas de la envoltura nuclear y el retículo endoplásmico (FIGURA 4-12).

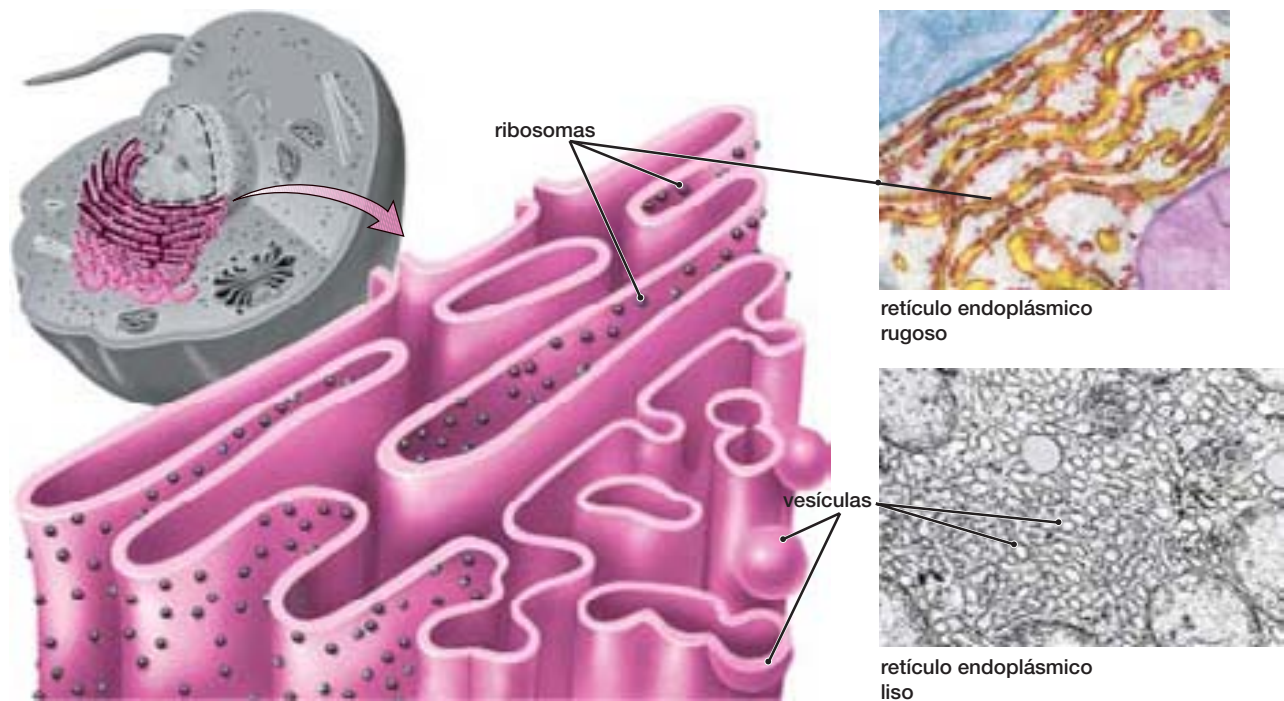


FIGURA 4-12 Retículo endoplásmico

Hay dos tipos de retículo endoplásmico: el RE rugoso y el liso. En algunas células los retículos rugoso y liso son continuos, como se muestra en la ilustración. En otras, el RE liso está más bien separado. La cara citoplásmica de la membrana del RE rugoso está salpicada de ribosomas (negro).

consumo de drogas como el alcohol y subproductos metabólicos como el amoníaco. Otras enzimas en el RE liso del hígado transforman el glucógeno (un polisacárido almacenado en este órgano) en moléculas de glucosa para suministrar energía. El RE liso almacena calcio en todas las células, pero en los músculos esqueléticos se agranda y se especializa en almacenar grandes cantidades de este mineral que se requiere para la contracción de los músculos.

Retículo endoplásmico rugoso

Los ribosomas del RE rugoso son sitios donde se sintetizan proteínas. Por ejemplo, las diversas proteínas incrustadas en las membranas celulares se fabrican aquí, de manera que el RE rugoso es capaz de producir todos los componentes de las nuevas membranas. La producción continua de nuevas membranas es importante porque la membrana del RE se estrangula, de manera continua, y es transportada hacia el aparato de Golgi, los lisosomas y la membrana plasmática.

Los ribosomas del RE rugoso también fabrican las proteínas como las enzimas digestivas y hormonas proteicas (por ejemplo, la insulina), que algunas células excretoras exportan a su ambiente. Conforme se sintetizan estas proteínas, son insertadas a través de la membrana del RE hacia el compartimiento interior. Las proteínas sintetizadas ya sea para excretarse de la célula o para usarse dentro de la célula se desplazan entonces por los canales del RE. Aquí se modifican químicamente y se pliegan en sus estructuras tridimensionales adecuadas. Luego estas proteínas se acumulan en bolsas de membrana que se estrangulan como vesículas, las cuales llevan su carga proteica al aparato de Golgi.

El aparato de Golgi clasifica, altera químicamente y empaqueta las moléculas importantes

El **aparato de Golgi** (o **Golgi**, llamado así en honor del médico y biólogo celular italiano Camillo Golgi, quien lo descubrió a finales del siglo XIX) es un conjunto especializado de membranas, derivadas del retículo endoplásmico, que semeja una pila de bolsas aplanadas e interconectadas (**FIGURA 4-13**

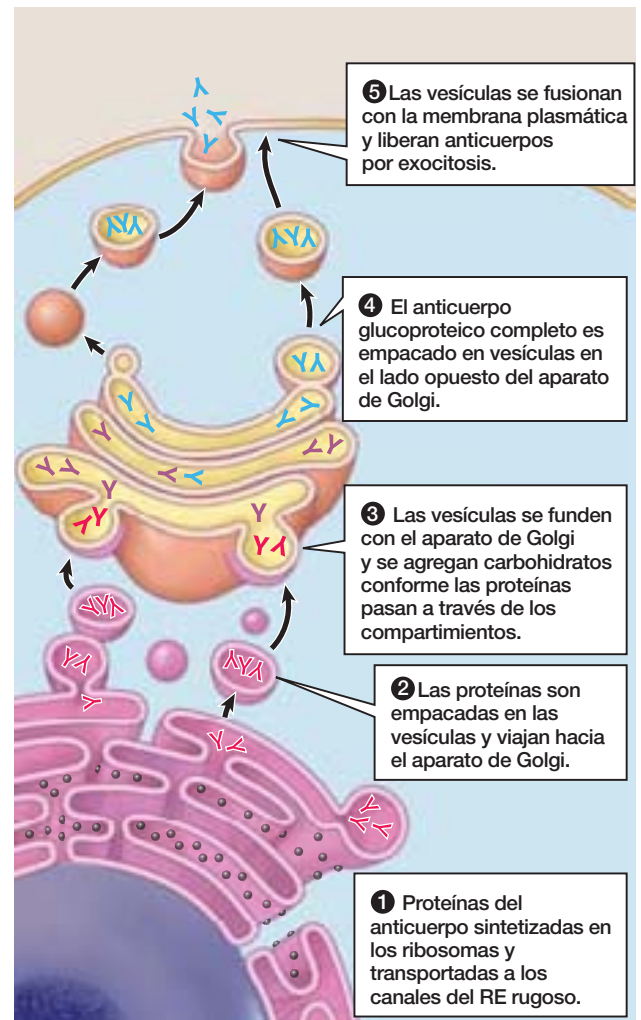


FIGURA 4-14 Fabricación y exportación de una proteína

nadas a los lisosomas, del colesterol empleado en la síntesis de nuevas membranas y de las proteínas con función de hormonas que secretará la célula.

- Empaca las moléculas terminadas en vesículas que luego se transportan a otras partes de la célula o a la membrana plasmática para su exportación.

Las proteínas secretadas viajan a través de la célula para su exportación

Para comprender cómo trabajan juntos algunos componentes del sistema membranoso, veamos la fabricación y exportación de una proteína sumamente importante llamada *anticuerpo* (**FIGURA 4-14**

membrana de Golgi. La vesícula que contiene el anticuerpo terminado viaja entonces a la membrana plasmática y se funde con ella, liberando así el anticuerpo fuera de la célula, de donde pasará al torrente sanguíneo para ayudar a defender al organismo contra una infección.

Los lisosomas actúan como sistema digestivo de la célula

Algunas de las proteínas fabricadas por el RE y enviadas al aparato de Golgi son enzimas digestivas intracelulares que pueden descomponer proteínas, grasas y carbohidratos en sus subunidades componentes. En el aparato de Golgi, estas enzimas se empaquetan en vesículas membranosas llamadas **lisosomas** (FIGURA 4-15). Una función importante de los lisosomas es la de digerir partículas de alimento, que van desde proteínas individuales hasta microorganismos enteros.

Como veremos en el capítulo 5, muchas células “comen” por *fagocitosis*, envolviendo las partículas que encuentran en el exterior con las extensiones de su membrana plasmática. Luego, las partículas de alimento entran al citosol encerradas en bolsas membranosas y forman una **vacuola alimentaria**. Los lisosomas reconocen estas vacuolas alimentarias y se funden con ellas. El contenido de las dos vacuolas se mezcla y las enzimas lisosómicas digieren el alimento para producir moléculas de menor tamaño como aminoácidos, monosacáridos y ácidos grasos, que pueden usarse dentro de la célula. Los lisosomas también digieren las membranas celulares excedentes y los organelos defectuosos o que no están funcionando bien. La célula los encierra en vesículas formadas a partir de la membrana del RE, que se funden luego con los lisosomas. Las enzimas digestivas dentro del lisosoma hacen que la célula recicle las moléculas valiosas de los organelos inservibles.

La membrana fluye a través del sistema de membranas de la célula

La envoltura nuclear, el RE rugoso y liso, el aparato de Golgi, los lisosomas, las vacuolas alimentarias y la membrana plasmática forman juntos un sistema integrado de membranas. Al revisar las figuras 4-14 y 4-15, podrás darte una idea de cómo las membranas se interconectan entre sí. El RE sintetiza los fosfolípidos y las proteínas que constituyen la membrana plasmática y estrangula parte de esta membrana para crear vesículas, las cuales se fusionan con las membranas del aparato de Golgi. Una parte de la membrana del RE que se fusiona con el aparato de Golgi tiene “etiquetas de correo” de proteínas que las envían de regreso al RE, y de esta manera se restauran las proteínas importantes (tales como algunas enzimas) de la membrana del RE. Otras partes de la membrana del RE son modificadas por el aparato de Golgi; por ejemplo, se pueden agregar carbohidratos para formar membranas de glucoproteínas. Por último, esta membrana deja el aparato de Golgi transformada en vesícula, la cual se fusiona con la membrana plasmática, reabasteciéndola y agrandándola.

Las vacuolas desempeñan muchas funciones, como regulación del agua, soporte y almacenamiento

Casi todas las células contienen una o más **vacuolas**

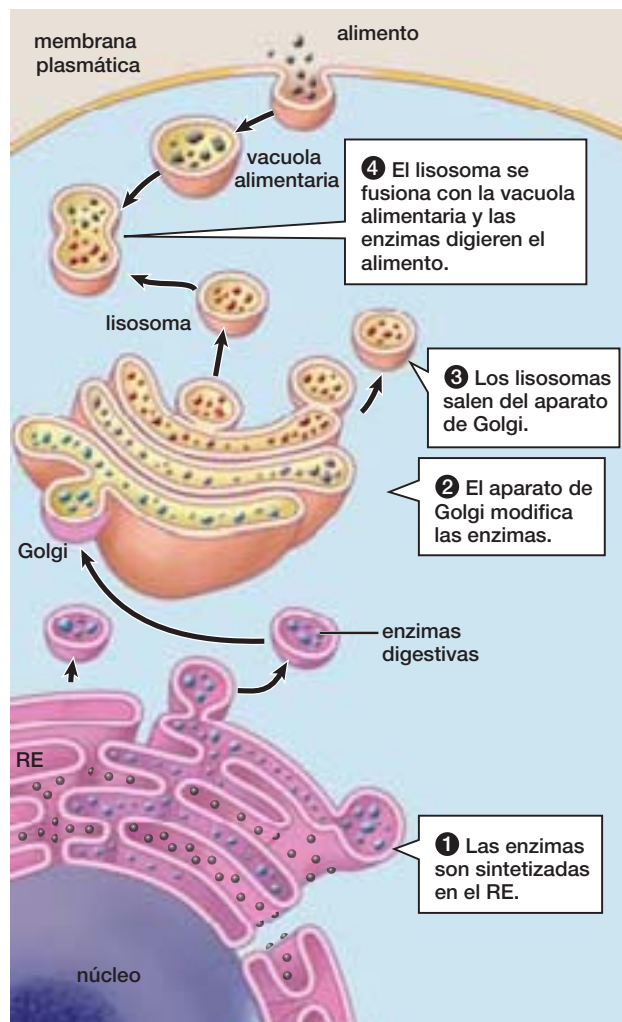


FIGURA 4-15 Formación y función de lisosomas y vacuolas alimentarias

Los microorganismos de agua dulce tienen vacuolas contráctiles

Los protistas de agua dulce como el *Paramecium* constan de una sola célula eucariótica. Muchos de estos organismos poseen **vacuolas contráctiles** formadas por conductos de recolección, un depósito central y un tubo que conduce a un poro de la membrana plasmática (FIGURA 4-16). Estas células complejas viven en el agua dulce, la cual drena de manera constante a través de sus membranas plasmáticas (describiremos este proceso llamado *ósmosis* en el capítulo 5). La entrada de agua reventaría estos frágiles organismos, si no fuera porque tienen un mecanismo que la expulsa. La energía celular se usa para bombear las sales del citoplasma del protista hacia los conductos colectores. El agua fluye por ósmosis y drena hacia el depósito central. Cuando el depósito de la vacuola contráctil está lleno, se contrae, expulsando el agua a través de un poro de la membrana plasmática.

Las células vegetales tienen vacuolas centrales

Tres cuartas partes o más del volumen de muchas células vegetales están ocupadas por una gran **vacuola central**

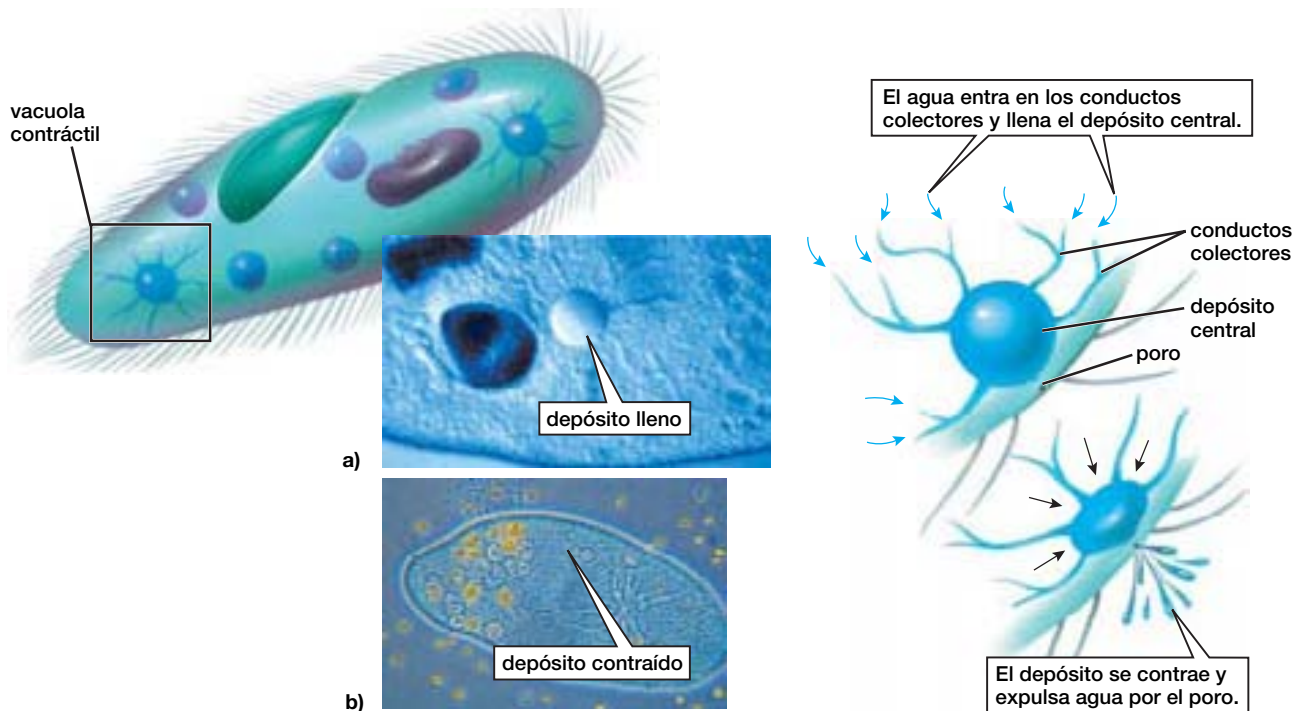


FIGURA 4-16 Vacuolas contráctiles

Muchos protistas de agua dulce contienen vacuolas contráctiles. **a)** El agua entra de forma continua en la célula por ósmosis. En la célula, el agua es captada por los conductos colectores y drenada hacia el depósito central de la vacuola. **b)** Una vez lleno, el depósito se contrae y expulsa el agua a través de un poro en la membrana plasmática.

llena principalmente de agua, esta vacuola central participa en el equilibrio hídrico de la célula. También sirve como “tiradero” de los desechos peligrosos que en muchos casos las células vegetales no pueden excretar. Algunas células vegetales almacenan en sus vacuolas sustancias sumamente tóxicas, como el ácido sulfúrico. Estos venenos disuaden a los animales de masticar las hojas que, de otra forma, les resultarían sabrosas. Las vacuolas también pueden almacenar azúcares y aminoácidos que no necesita de inmediato la célula, para usarlos después. Los pigmentos azules o púrpuras almacenados en las vacuolas centrales imparten color a muchas flores. Como aprenderás en el capítulo 5, las sustancias disueltas atraen el agua hacia la vacuola. La presión del agua dentro de la vacuola, llamada *presión de turgencia*, empuja la porción fluida del citoplasma contra la pared celular con bastante fuerza. Las paredes celulares suelen ser flexibles, así que tanto la forma general como la rigidez de la célula dependen de la presión de turgencia dentro de ésta. Esta presión brinda soporte a las partes no leñosas de las plantas (véase en el siguiente capítulo la figura 5-11, para ver lo que sucede cuando no riegas las plantas de tu casa).

Las mitocondrias extraen energía de las moléculas de alimento y los cloroplastos captan la energía solar

Toda célula requiere un abasto continuo de energía para fabricar moléculas y estructuras complejas, obtener nutrientes del ambiente, excretar materiales de desecho, moverse y reproducirse. Todas las células eucarióticas tienen *mitocondrias*

más *cloroplastos*, que pueden captar energía directamente de la luz solar y almacenarla en moléculas de azúcar.

La mayoría de los biólogos aceptan la hipótesis de que tanto las mitocondrias como los cloroplastos evolucionaron a partir de las bacterias procarióticas que se “asentaron” hace mucho tiempo dentro del citoplasma de otras células procarióticas, por medio de un proceso llamado *endosimbiosis* (literalmente del griego, “vivir juntos adentro”). Las mitocondrias y los cloroplastos tienen muchas similitudes entre sí y con las células procarióticas en diversas formas. Ambos son aproximadamente del mismo tamaño que algunas células procarióticas (de 1 a 5 micras de diámetro); también están rodeados por una doble membrana, la exterior tal vez provenga de la célula anfitriona original y la interior de la célula huésped. Ambos tienen ensambles de enzimas que sintetizan ATP, tal como lo necesitaría una célula independiente. Por último, ambos poseen su propio DNA y ribosomas que se asemejan más a los ribosomas procarióticos que a los ribosomas y al DNA eucarióticos. La *hipótesis endosimbiótica* acerca de la evolución de las mitocondrias y cloroplastos se explicará más a fondo en el capítulo 17.

Las mitocondrias utilizan la energía almacenada en las moléculas de alimento para producir ATP

Todas las células eucarióticas tienen *mitocondrias*

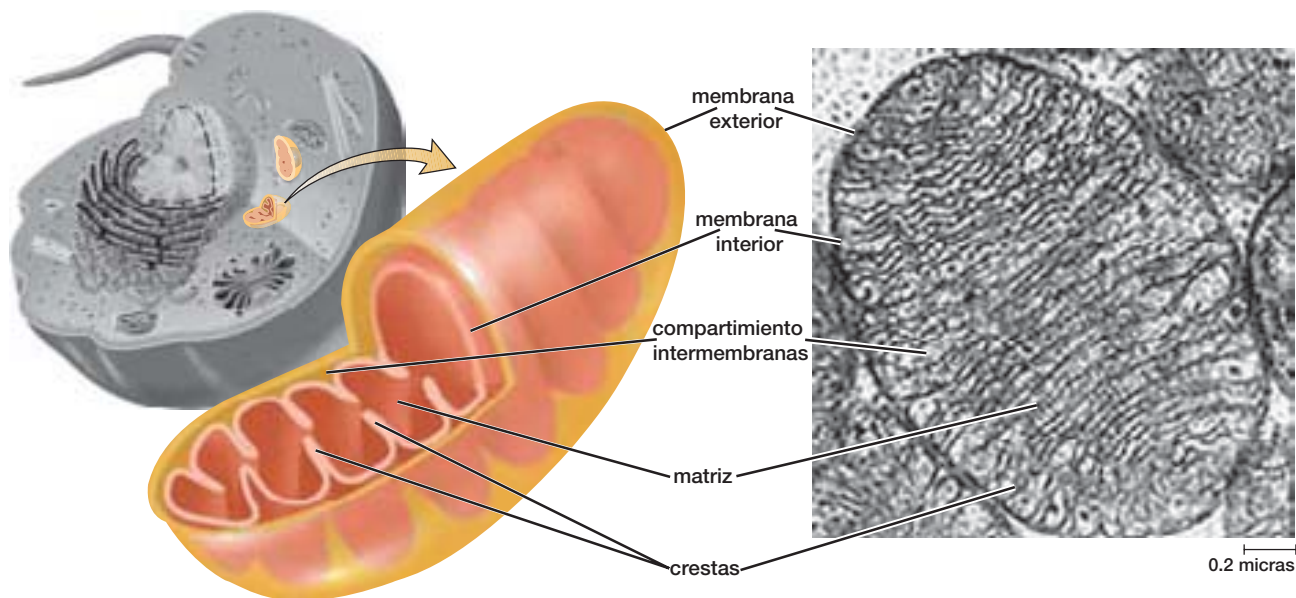


FIGURA 4-17 Una mitocondria

Las mitocondrias consisten en un par de membranas que encierran dos compartimientos de fluido: el compartimiento intermembranas ubicado entre la membrana externa e interna, y la matriz dentro de la membrana interior. La membrana exterior es lisa, pero la interior forma pliegues profundos llamados crestas.

que se metaboliza. La descomposición de las moléculas de alimento se inicia con las enzimas del citosol y no usa oxígeno. Este metabolismo **anaeróbico** (sin oxígeno) no convierte mucha energía alimentaria en energía de ATP. Las mitocondrias permiten a la célula eucariótica utilizar oxígeno para descomponer aún más las moléculas de alta energía. Estas reacciones **aeróbicas** (con oxígeno) generan energía con mayor eficiencia; se genera 18 veces más ATP por medio del metabolismo aeróbico en las mitocondrias que del metabolismo anaeróbico en el citosol. No es de sorprender, entonces, que las mitocondrias se encuentren en grandes cantidades en las células metabólicamente activas, como las musculares, y sean menos abundantes en las células menos activas, como las de los huesos y cartílagos.

Las mitocondrias son organelos redondos, ovalados o tubulares que tienen un par de membranas (**FIGURA 4-17**). Aunque la membrana mitocondrial exterior es lisa, la membrana interior forma pliegues profundos llamados *crestas*. Las membranas mitocondriales encierran dos espacios llenos de fluido: el *compartimiento intermembranas* ubicado entre las membranas externa e interna, y la *matriz*, o *compartimiento interior*, dentro de la membrana interna. Algunas de las reacciones que descomponen las moléculas de alta energía tienen lugar en el fluido de la matriz dentro de la membrana interior; el resto se realiza por medio de una serie de enzimas unidas a las membranas de las crestas dentro del compartimiento intermembranas. El papel de las mitocondrias en la producción de energía se describe con todo detalle en el capítulo 8.

En los cloroplastos se efectúa la fotosíntesis

tesis de las células eucarióticas de las plantas y protistas fotosintéticos tiene lugar en los **cloroplastos** (**FIGURA 4-18**), que son organelos especializados rodeados por una doble membrana. La membrana interior del cloroplasto encierra un fluido llamado *estroma*. Dentro del estroma hay pilas de bolsas membranosas, huecas e interconectadas. Las bolsas individuales se llaman *tilacoides*, y una pila de bolsas se conoce con el nombre de *granum* (plural *grana*).

Las membranas de los tilacoides contienen la molécula del pigmento verde llamado **clorofila** (que imparte el color verde a las plantas), así como otras moléculas de pigmento. Durante la fotosíntesis la clorofila capta la energía solar y la transfiere a otras moléculas de las membranas de los tilacoides. Estas moléculas, a la vez, transfieren la energía al ATP y a otras moléculas portadoras de energía, las cuales se difunden hacia el estroma, donde su energía se utiliza para sintetizar azúcar a partir de dióxido de carbono y agua.

Las plantas utilizan plástidos para almacenamiento

Los cloroplastos son **plástidos**

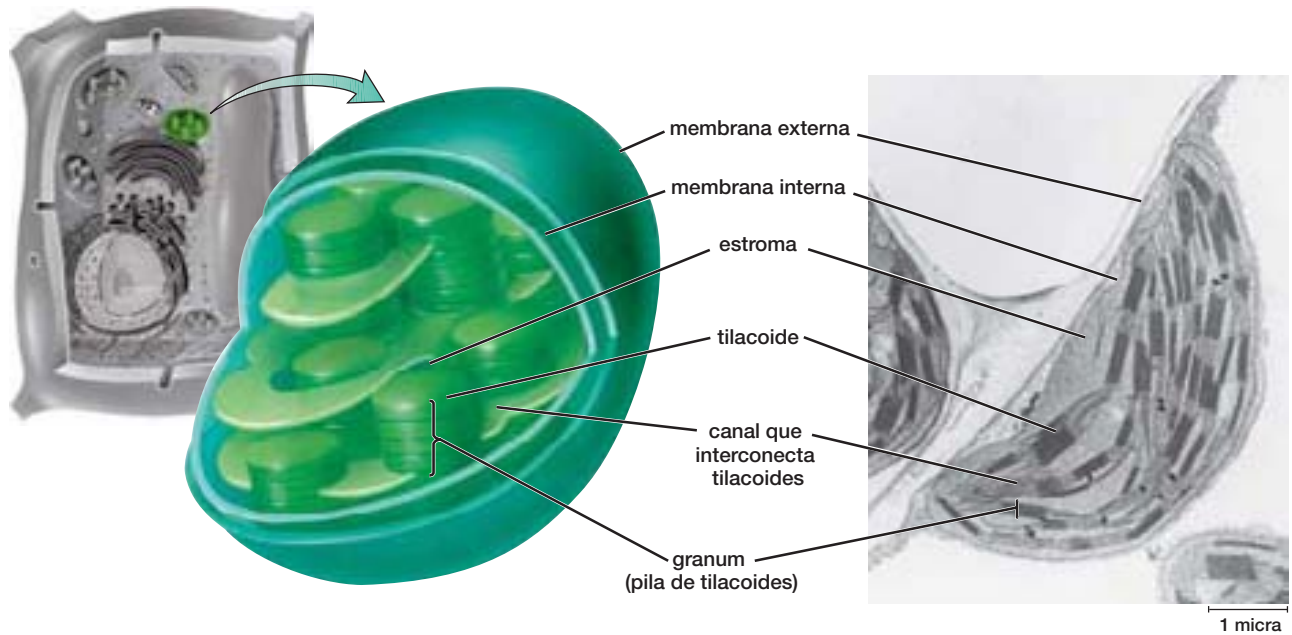


FIGURA 4-18 Un cloroplasto

Los cloroplastos están rodeados por una doble membrana, aunque por lo regular la membrana interna no se distingue en las micrografías electrónicas. La membrana interna encierra el estroma; dentro de éste hay pilas de bolsas que reciben el nombre de *grana*. La clorofila está embebida en la membrana de los tilacoides.

Las papas, por ejemplo, están compuestas casi en su totalidad de células que contienen plástidos llenos de almidón.

4.4 ¿CUÁLES SON LAS CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LAS CÉLULAS PROCARIÓTICAS?

Las células procarióticas son pequeñas y poseen características superficiales especializadas

La mayoría de las células procarióticas son muy pequeñas (menos de 5 micras de diámetro) con una estructura interna sencilla en comparación con las células eucarióticas (FIGURA 4-20 y compárala con las figuras 4-3 y 4-4). Casi todas las células procarióticas están rodeadas por una pared celular rígida, que las protege y les da su forma característica. La mayor parte de las células procarióticas toman la forma de bastoncillos (bacilos; FIGURA 4-20a), esferas (cocos, FIGURA 4-20b), o hélices que parecen “garabatos” (espirilos, FIGURA 4-20b). Varios tipos de antibióticos, incluida la penicilina, combaten las infecciones bacteriales al obstruir la síntesis de la pared celular, lo que ocasiona el rompimiento de las bacterias. Algunas bacterias y arqueas pueden moverse, impulsadas por flagelos (diferentes a los de las células eucarióticas). Las células procarióticas carecen de cilios.

Las bacterias que infectan a otros organismos, como las que causan las caries dentales, la diarrea, la neumonía o las infecciones del tracto urinario, tienen características superficiales que les ayudan a adherirse a tejidos específicos del huésped, como la superficie de un diente o el revestimiento del intestino delgado, pulmones y vejiga. Estas características superficiales incluyen las *cápsulas* y *capas legamosas*

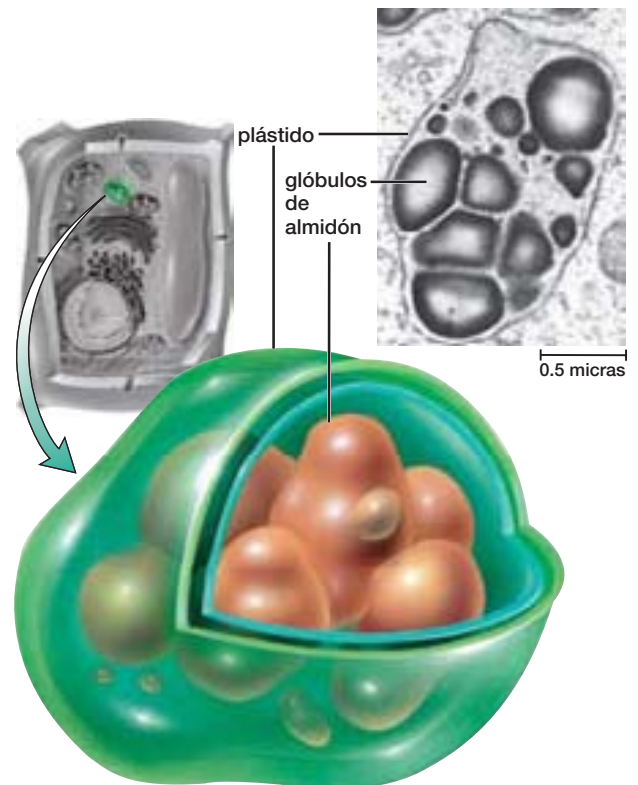


FIGURA 4-19 Un plástido

Los plástidos, presentes en las células vegetales y de protistas fotosintéticos, son organelos rodeados por una doble membrana externa. Los cloroplastos son el tipo más conocido de plástidos, otros tipos almacenan diversos materiales, como el almidón que llena estos plástidos de células de papa.

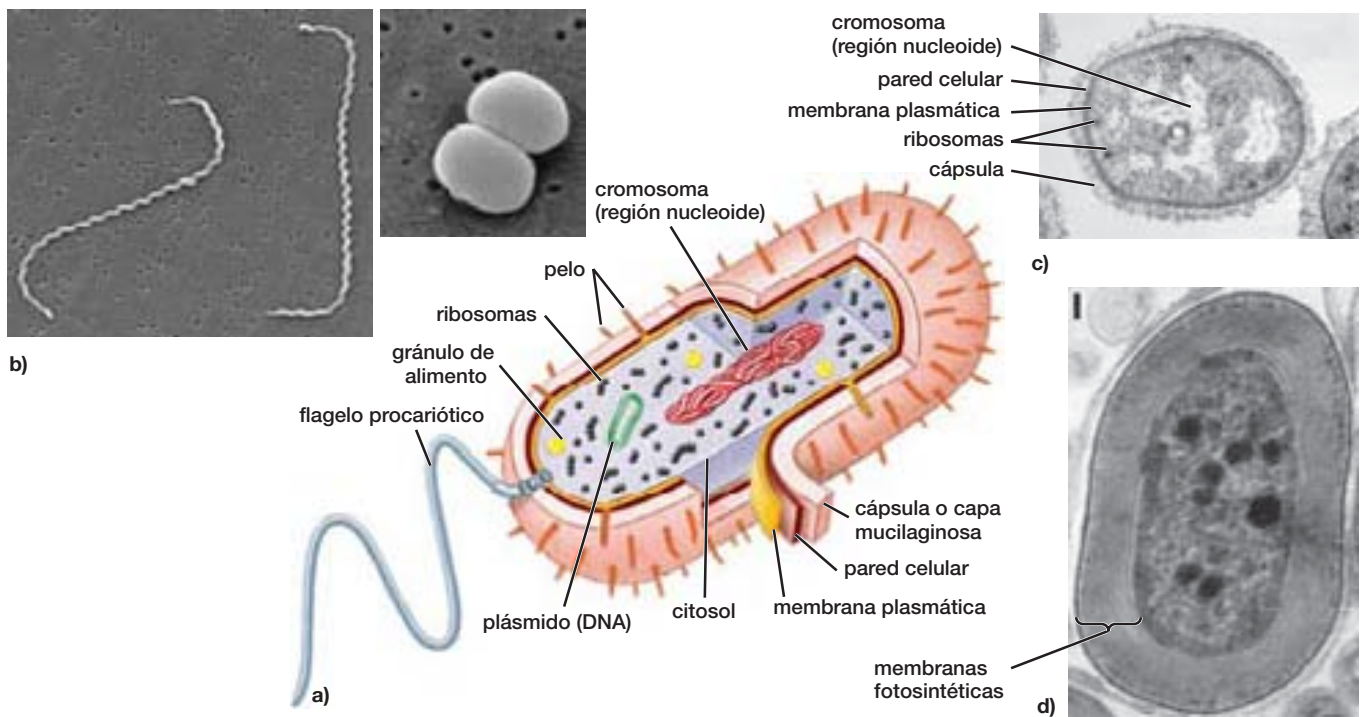


FIGURA 4-20 Células procarióticas

Las células procarióticas son más sencillas que las eucarióticas. Algunas, como las que se muestran en esta ilustración, tienen forma de bastoncillos. **b)** Otras toman la forma de esferas o hélices. **c)** Una fotografía por TEM de una bacteria esférica con cápsula. **d)** Algunas bacterias fotosintéticas poseen membranas internas donde se efectúa la fotosíntesis.

son proteínas que se proyectan hacia fuera de la pared de la célula procariótica. Cuando Van Leeuwenhoek observó el material que había raspado de sus dientes bajo su microscopio rudimentario, vio muchas bacterias adheridas a las capas legamosas (véase “Enlaces con la vida: Huéspedes indeseables”). Las cápsulas y las capas legamosas ayudan también a algunas células procarióticas a evitar que se sequen. Algunos tipos de bacterias forman pelos sexuales, que son tubos proteicos huecos que se utilizan para intercambiar material genético (DNA) entre las células de las bacterias. Las características de las células procarióticas se explican con mayor detalle en el capítulo 19.

Las células procarióticas tienen menos estructuras especializadas dentro del citoplasma

El citoplasma de la mayoría las células procarióticas es más bien de apariencia homogénea si se le compara con las células eucarióticas. Por lo general, las células procarióticas tienen un solo *cromosoma* circular que consiste en una hebra larga de DNA que contiene información genética esencial para la célula. Este cromosoma por lo común está enroscado y se encuentra en la región central de la célula, llamada **región nucleoide** (figura 4-20), y no está separada del resto del citoplasma por una membrana. La mayoría de las células procarióticas contienen también pequeños anillos de DNA llamados *plásmidos* ubicados fuera de la región nucleoide. Por lo general, los plásmidos tienen genes que imparten a la célula propiedades especiales; por ejemplo, algunas bacterias que causan enfermedades poseen plásmidos que les permiten inactivar a los antibióticos, por lo que resulta mucho más difícil aniquilarlas.

Las células procarióticas carecen de núcleo y de otros organelos encerrados en membranas (como los cloroplastos, mitocondrias, RE, aparato de Golgi y otros componentes del sistema de membranas) que poseen las células eucarióticas. No obstante, algunas células procarióticas emplean membranas para organizar las enzimas encargadas de realizar una serie de reacciones bioquímicas. Las enzimas están situadas en una secuencia particular a lo largo de la membrana para estimular las reacciones en el orden necesario. Por ejemplo, las bacterias fotosintéticas tienen membranas internas en las cuales las proteínas que captan la luz y las enzimas que catalizan la síntesis de las moléculas de alta energía están distribuidas en un orden específico (figura 4-20d). En las células procarióticas, las reacciones que recolectan la energía proveniente de la descomposición de los azúcares se catalizan por las enzimas que pueden estar localizadas a lo largo de la membrana plasmática interior o flotando libremente en el citosol.

El citoplasma bacterial contiene ribosomas (véase la figura 4-20a). Aunque su función es parecida a la de los ribosomas eucarióticos, son más pequeños y contienen proteínas diferentes. Estos ribosomas se parecen a los que se encuentran en las mitocondrias de las células eucarióticas y cloroplastos, en el sentido de que brindan apoyo a la hipótesis endosimbiótica explicada con anterioridad. El citoplasma procariótico puede contener también *gránulos de alimento* que almacenan moléculas ricas en energía, como el glucógeno, pero que no se encuentran encerrados por membranas.

Quizá en este momento quieras regresar y consultar la **tabla 4-1** para repasar las diferencias entre las células procarióticas y eucarióticas. La diversidad y las estructuras especializadas de las bacterias y arqueas se explicarán con más detalle en el capítulo 19.

REPASO DEL CAPÍTULO

RESUMEN DE CONCEPTOS CLAVE

4.1 ¿Qué es la teoría celular?

Los principios de la teoría celular son los siguientes:

- Todo organismo vivo se compone de una o más células.
- Los organismos vivos más pequeños son unicelulares, y las células son las unidades funcionales de los organismos multicelulares.
- Todas las células surgen de células preexistentes.

4.2 ¿Cuáles son las características básicas de las células?

Las células son de tamaño limitado porque deben intercambiar materiales con su ambiente por medio de la difusión, un proceso lento que requiere que el interior de la célula nunca esté demasiado lejos de la membrana plasmática. Todas las células están rodeadas por una membrana plasmática que regula el intercambio de materiales con su ambiente. Las células contienen citoplasma que consiste en un citosol acuoso y varios organelos, sin incluir el núcleo. Todas las células emplean el DNA como plano genético y el RNA ayuda en la síntesis de las proteínas basada en ese plano. Todas las células obtienen los materiales para generar las moléculas de la vida y la energía necesaria para esta síntesis a partir de sus ambientes vivo e inerte. Existen dos tipos fundamentalmente diferentes de células: las procarióticas y las eucarióticas.

Web tutorial 4.1 Estructura celular

4.3 ¿Cuáles son las características principales de las células eucarióticas?

Las células de plantas, hongos y algunos protistas están soportadas por paredes celulares porosas fuera de la membrana plasmática. Todas las células eucarióticas tienen un citoesqueleto interior de filamentos de proteína que las organiza y les da forma, y que se encarga de mover y anclar a los organelos. Algunas células eucarióticas tienen cilios o flagelos, que son extensiones de la membrana plasmática que contiene microtúbulos con un patrón característico. Estas estructuras mueven fluidos más allá de la célula o mueven a ésta a través de su ambiente fluido.

El material genético (DNA) se encuentra dentro del núcleo, el cual está rodeado por una doble membrana de la envoltura nuclear; los poros de ésta regulan el movimiento de las moléculas entre el núcleo y el citoplasma. El material genético está organizado en hebras llamadas *cromosomas* , las cuales consisten en DNA y proteínas. El nucleolo consiste en RNA y proteínas ribosómicas, así como los genes que codifican la síntesis de ribosomas; éstos son partículas de RNA y proteínas, y son los sitios donde se sintetizan las proteínas.

El sistema de membranas de una célula consiste en la membrana plasmática, el retículo endoplásmico (RE), el aparato de Golgi, las vacuolas y las vesículas derivadas de estas membranas. El retículo endoplásmico consiste en una serie de compartimientos interconectados cuyas membranas tienen enzimas para producir

más lípidos. El RE es el sitio principal de la síntesis de membranas dentro de la célula. El RE rugoso, que contiene a los ribosomas, fabrica muchas proteínas celulares. El RE liso, al carecer de ribosomas, fabrica lípidos como las hormonas esteroides, desintoxica al organismo de drogas y desechos metabólicos, transforma el glucógeno en glucosa y almacena el calcio. El aparato de Golgi está constituido por una serie de bolsas membranosas derivadas del RE. El aparato de Golgi procesa y modifica el material sintetizado en el RE rugoso. Las sustancias modificadas en el aparato de Golgi son empacadas en vesículas para su transporte a cualquier sitio de la célula. Los lisosomas son vesículas que contienen enzimas digestivas, las cuales digieren las partículas de alimento y los organelos defectuosos.

Todas las células eucarióticas contienen mitocondrias, organelos que emplean oxígeno para completar el metabolismo de las moléculas de alimento, captando buena parte de su energía como ATP. Las células vegetales y algunos protistas contienen plástidos, incluidos los cloroplastos que captan la energía solar durante la fotosíntesis, lo que capacita a las células para fabricar moléculas orgánicas, particularmente azúcares a partir de moléculas inorgánicas sencillas. Tanto las mitocondrias como los cloroplastos probablemente se originaron de las bacterias. Los plástidos almacenan pigmentos o almidón.

Muchas células eucarióticas contienen bolsas llamadas vacuolas, delimitadas por una sola membrana, cuyas funciones son almacenar alimento o desechos, excretar agua, o dar soporte a la célula. Algunos protistas tienen vacuolas contráctiles, las cuales recogen y expelen el agua. Las plantas emplean las vacuolas centrales para dar soporte a la célula, así como para almacenar desechos y materiales tóxicos.

Web tutorial 4.2 Tránsito de membranas

4.4 ¿Cuáles son las características principales de las células procarióticas?

Por lo general, las células procarióticas son muy pequeñas y tienen una estructura interior sencilla. La mayoría de ellas están rodeadas por paredes celulares relativamente rígidas. El citoplasma de las células procarióticas carece de organelos encerrados por membranas (aunque algunas bacterias fotosintéticas tienen membranas internas extensas). Una sola hebra circular de DNA se encuentra en la región nucleoide. En la tabla 4-1 se hace una comparación entre las células procarióticas y las eucarióticas de plantas y animales.

Nota de estudio

Las figuras 4-3, 4-4 y 4-20 ilustran la estructura general de las células animales, vegetales y procarióticas, respectivamente. La tabla 4-1 lista los organelos principales, sus funciones y su presencia en animales, plantas y procariotas.

TÉRMINOS CLAVE

ácido desoxirribonucleico (DNA) <i>pág. 61</i>	centriolo <i>pág. 67</i>	filamento intermedio <i>pág. 66</i>	organelo <i>pág. 63</i>
ácido ribonucleico (RNA) <i>pág. 61</i>	cilio <i>pág. 67</i>	flagelo <i>pág. 67</i>	plástido <i>pág. 74</i>
aeróbico <i>pág. 74</i>	citoesqueleto <i>pág. 63</i>	hipótesis endosimbiótica <i>pág. 73</i>	retículo endoplásmico (RE) <i>pág. 70</i>
anaeróbico <i>pág. 74</i>	citoplasma <i>pág. 60</i>	lisosoma <i>pág. 72</i>	región nucleoide <i>pág. 76</i>
aparato de Golgi <i>pág. 71</i>	citósol <i>pág. 60</i>	membrana plasmática <i>pág. 59</i>	ribosoma <i>pág. 69</i>
arqueas <i>pág. 62</i>	cloroplasto <i>pág. 74</i>	microfilamento <i>pág. 66</i>	vacuola <i>pág. 72</i>
bacterias <i>pág. 62</i>	clorofila <i>pág. 74</i>	microtúbulo <i>pág. 66</i>	vacuola alimentaria <i>pág. 72</i>
célula eucariótica <i>pág. 62</i>	cromatina <i>pág. 68</i>	mitocondria <i>pág. 73</i>	vacuola central <i>pág. 72</i>
célula procariótica <i>pág. 62</i>	cromosoma <i>pág. 68</i>	núcleo <i>pág. 68</i>	vacuola contráctil <i>pág. 72</i>
	cuerpo basal <i>pág. 67</i>	nucleolo <i>pág. 69</i>	vesícula <i>pág. 70</i>
	envoltura nuclear <i>pág. 68</i>		

RAZONAMIENTO DE CONCEPTOS

1. Dibuja las células procarióticas y eucarióticas “típicas” y describe sus semejanzas y diferencias.
2. ¿Cuáles organelos son comunes tanto en las células vegetales como en las animales, y cuáles son únicos para unas y otras?
3. Define *estroma* y *matriz*.
4. Describe al núcleo, incluidos la envoltura nuclear, la cromatina, los cromosomas, el DNA y los nucleolos.
5. ¿Cuáles son las funciones de las mitocondrias y los cloroplastos? ¿Por qué los científicos creen que estos organelos surgieron de las células procarióticas?
6. ¿Cuál es la función de los ribosomas? ¿En qué parte de la célula se encuentran? ¿Sólo se les encuentra en las células eucarióticas?
7. Describe la estructura y función del retículo endoplásmico y del aparato de Golgi.
8. ¿Cómo se forman los lisosomas? ¿Cuál es su función?
9. Dibuja la estructura de los cilios y flagelos.

APLICACIÓN DE CONCEPTOS

1. Si se tomaran muestras de tejido muscular de un corredor de maratón de nivel mundial y de un individuo sedentario, ¿cuál esperarías que tuviera una densidad mucho más elevada de mitocondrias? ¿Por qué?
2. Una de las funciones del citoesqueleto en las células animales es la de darles forma. Las células vegetales tienen una pared celular bastante rígida que rodea a la membrana plasmática. ¿Esto significa que es innecesario un citoesqueleto para la célula vegetal?
3. La mayoría de las células son muy pequeñas. ¿Qué restricciones físicas y metabólicas limitan el tamaño de la célula? ¿Qué problemas enfrentaría una célula enorme? ¿Qué adaptaciones podrían ayudar a sobrevivir a una célula muy grande?

PARA MAYOR INFORMACIÓN

de Duve, C., “The Birth of Complex Cells”. *Scientific American*, abril de 1996. Describe los mecanismos por los que se produjeron las primeras células eucarióticas a partir de antepasados procarióticos.

Ford, B. J., “The Earliest Views”. *Scientific American*, abril de 1996. *Scientific American*. El autor utilizó los microscopios originales de Anton van Leeuwenhoek para observar el mundo microscópico como lo vio este investigador. Las imágenes fotográficas tomadas a través de estos muy primitivos instrumentos revelan notables detalles.

Hoppert, M. y Mayer, F., “Prokaryotes”. *Scientific American*, noviembre-diciembre de 1999. Estas células relativamente simples poseen realmente una considerable organización interna.

Ingber, D. E., “The Architecture of Life”. *Scientific American*, enero de 1998. Las fuerzas de acción contraria estabilizan el diseño de las estructuras orgánicas, desde los compuestos del carbono hasta la arquitectura reforzada del citoesqueleto de la célula.