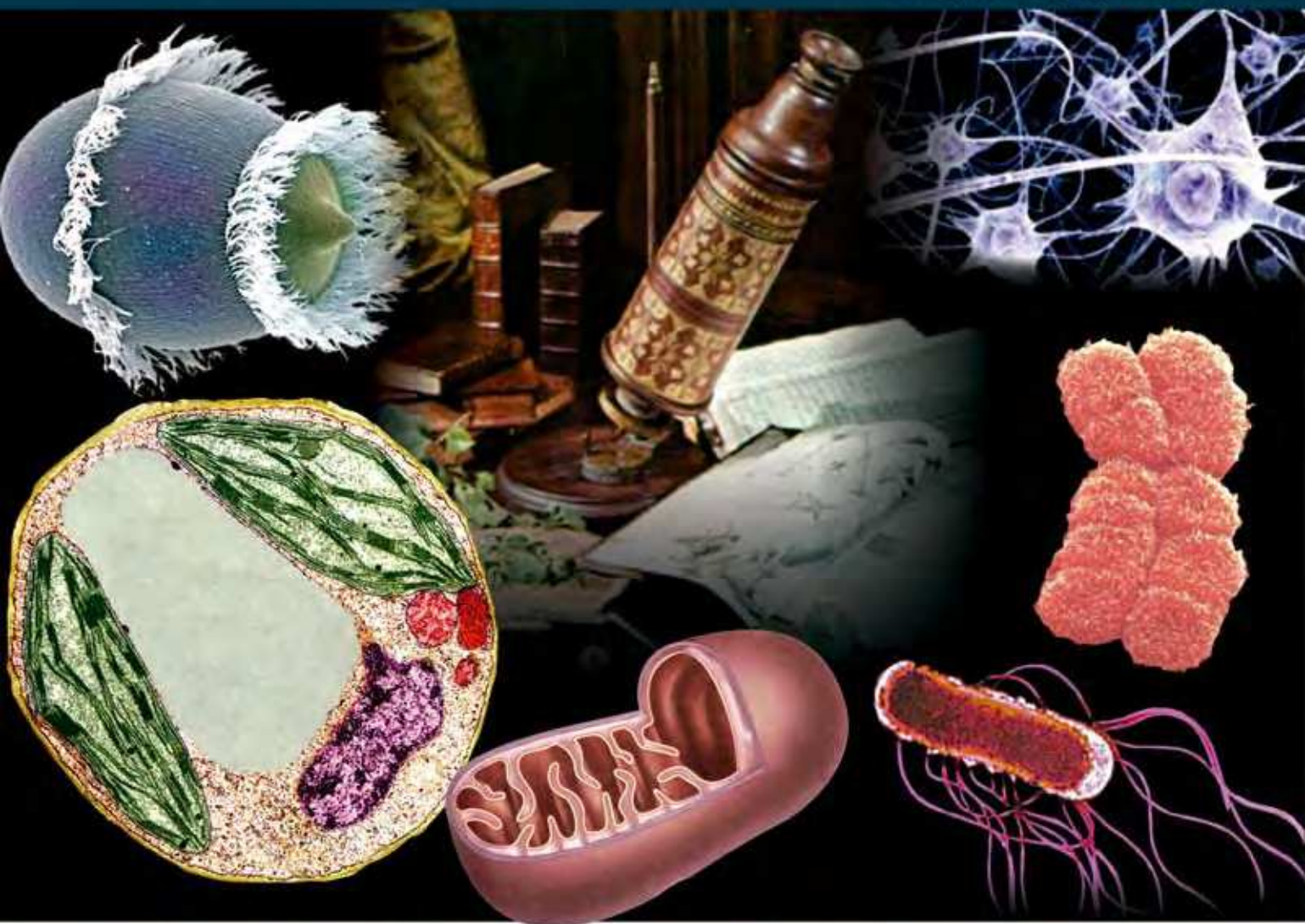


BIOLOGÍA CELULAR

PLAN 2009
* SEXTO SEMESTRE
(Componente propedéutico)



Amada Aleyda Angulo Rodríguez • Alma Rebeca Galindo Uriarte

Roberto C. Avendaño Palazuelos • Carolina Pérez Angulo





DIRECTORIO

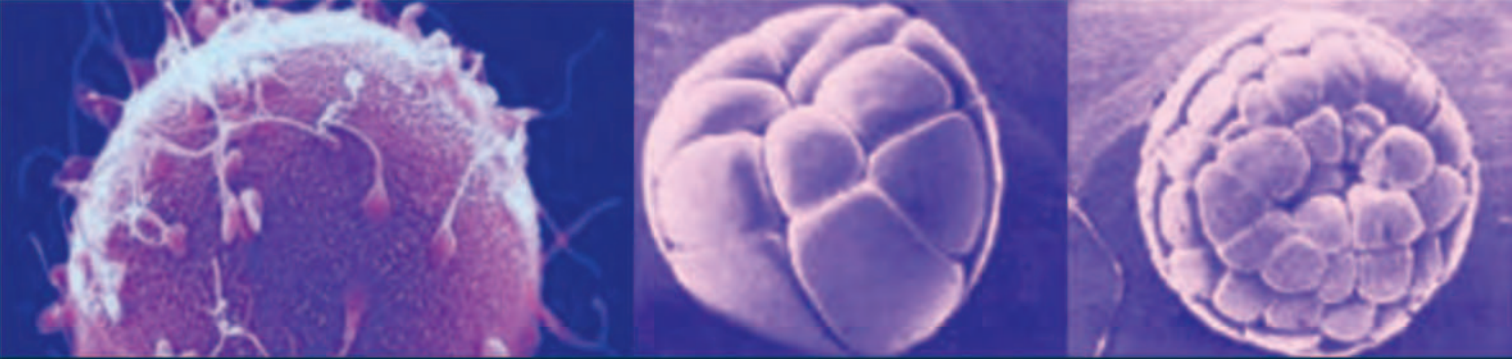
Dr. Víctor Antonio Corrales Burgueño
Rector

DR. José Alfredo Leal Orduño
Secretario General

LAE y MA Manuel de Jesús Lara Salazar
Secretario de Administración y Finanzas

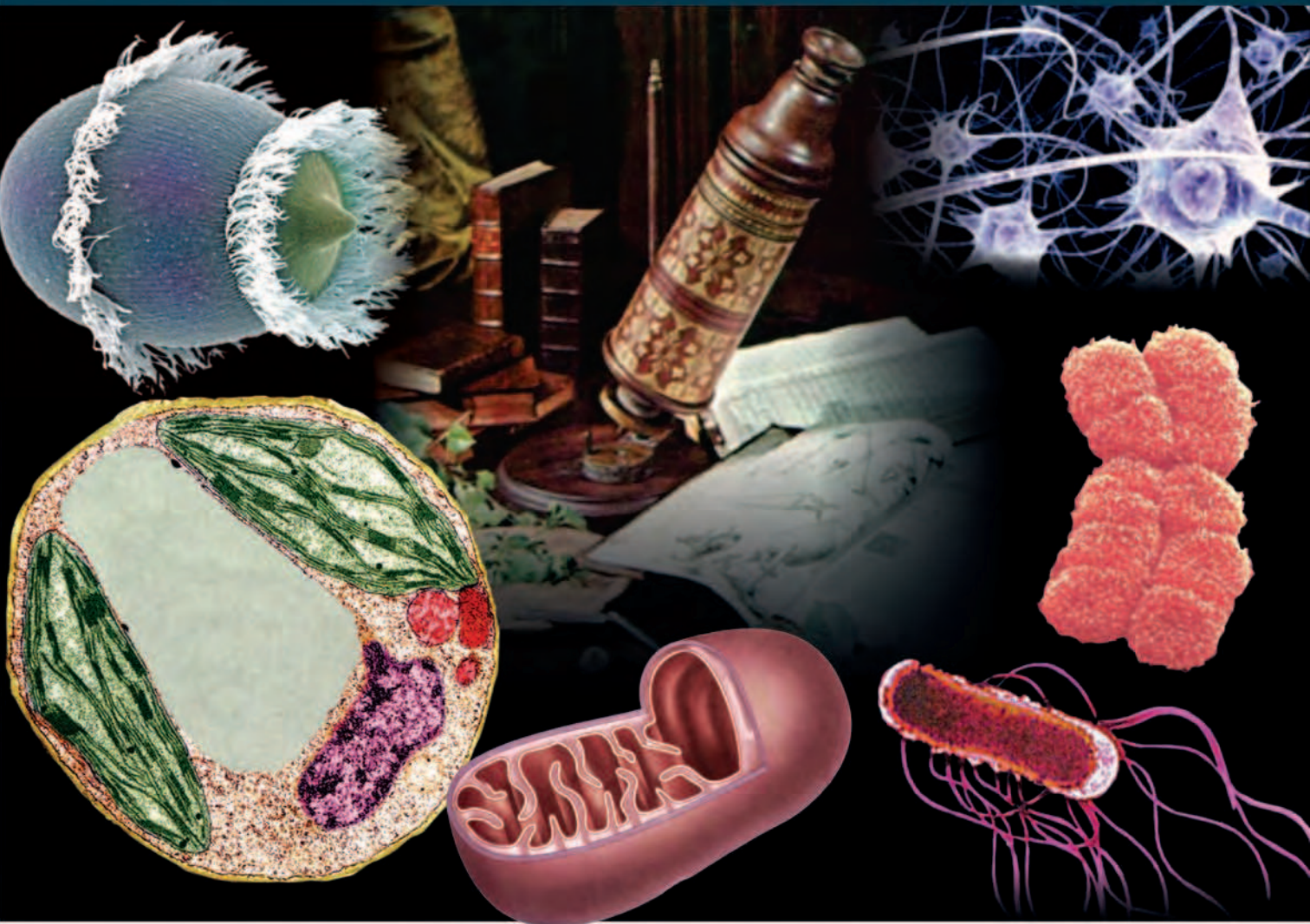
Q.F.B. Ofelia Loaiza Flores
Director de Servicios Escolares

Dr. Armando Flórez Arco
Director de DGEPE



BIOLOGÍA CELULAR

PLAN 2009
* SEXTO SEMESTRE
(Componente propedéutico)



Amada Aleyda Angulo Rodríguez • Alma Rebeca Galindo Uriarte
Roberto C. Avendaño Palazuelos • Carolina Pérez Angulo



BIOLOGÍA CELULAR

UAS-DGEP

BIOLOGÍA CELULAR

Tercer año

PRIMERA EDICIÓN, 2012.

© 2012. Universidad Autónoma de Sinaloa
Dirección General de Escuelas Preparatorias
Academia Estatal de Biología
Circuito interior oriente s.n.
Ciudad Universitaria,
Culiacán, Sinaloa, México.
C.P. 80010
Tel. 667-712-16-56, fax 712-16-53; ext. 111.
<http://dgep.uas.uasnet.mx>

Portada:

Yeimy López Camacho

Formación:

Yeimy López Camacho

Irán Ubaldo Sepúlveda León

Cuidado de la edición:

Amada Aleyda Angulo Rodríguez

Alma Rebeca Galindo Uriarte

Carolina Pérez Angulo

Edición con fines académicos, no lucrativos.

Presentación

El reconocimiento de que todos los seres vivos están constituidos por células, es una generalización que llega para satisfacer una búsqueda que duró muchos años en la historia del pensamiento científico, cuyo objetivo era encontrar la parte más pequeña que constituye a los seres vivos. Esta búsqueda de la unidad que caracteriza a los seres vivos como principio de organización y funcionamiento de los propios seres vivientes, pasó por grandes etapas, desde los estudios de Hipócrates, Galeno, Harvey, Descartes, Linneo, Haller, Buffon, Maupertis, Oken, hasta llegar a Schleiden, Schwann y Virchow, quienes concretaron todas las ideas precientíficas para dar forma al paradigma de la teoría celular, que sentó las bases para constituir a la biología como una ciencia.

La biología celular se desarrolla a partir de la invención del microscopio. El primer trabajo donde se reportan observaciones microscópicas lo publicó en 1667 Roberto Hooke con el título *Micrographia*, y es en ese libro donde se reporta por primera vez a la palabra célula, término que desapareció con el tiempo y fué redescubierta hasta un siglo después. En los tiempos de 1671, Nehemiah Grew y Marcelo Malpighi, al observar al microscopio estructuras vegetales encontraron formaciones que llamaron utrículos o vesículas, que no era otra que las células vegetales. Anton Van Leeuwenhoek con su propio microscopio de mano descubre los seres unicelulares de vida libre, bacterias, protozoarios, e incluso espermatozoides y a todos ellos les llamó animálculos. Fué hasta 1838 con el trabajo de Schleiden y Schwann, en que aparece no sólo el término de célula sino la generalización conceptual de la célula como unidad de vida. Es entonces, en la primera mitad del siglo XIX cuando se genera el impacto teórico que tuvo la primera gran generalización de la biología como ciencia, que permitió el desarrollo de una de sus grandes ramas y soporte, la biología celular.

Estos datos históricos y todas las investigaciones científicas que se han llevado a cabo en diferentes épocas y lugares por parte de una gran cantidad de citólogos, han conducido a ampliar el conocimiento y entendimiento acerca de este fascinante campo de la biología. En este libro se pretende presentar todos los aspectos básicos y actuales de la biología celular que están contemplados en el programa de estudio del sistema de bachillerato formal de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Al término de cada unidad, aparece una autoevaluación cuya finalidad es reflejar el avance que el alumno ha logrado.

Ademas, al final del texto se presenta una serie de seis actividades de laboratorio cuyas realizaciones básica ya que complementan el conocimiento del tema.

Deseamos que el libro les sea de gran utilidad, tanto a estudiantes como a profesores, durante el desarrollo del semestre. Esperamos que nos hagan llegar sus observaciones; estamos en la mejor disposición de hacer los cambios y correcciones que se consideren pertinentes.

Los autores

Contenido

Presentación ● 7

UNIDAD 1. Introducción a la Biología celular

Introducción a las células ● 15

Unidad y diversidad de las células ● 18

Las células vivas tienen propiedades básicas similares ● 19

Historia de la Biología celular ● 19

Teoría celular ● 21

Microscopía ● 23

Técnicas para estudiar los componentes de la célula ● 26

Células procariotas ● 27

Estructura de la célula bacteriana (eubacterias) ● 29

Estructura de una arqueobacteria ● 33

Teoría endosimbiótica ● 35

Células eucariotas ● 37

Célula animal, vegetal, fungal y protista ● 38

Célula animal ● 38

Célula vegetal ● 39

Célula fungal ● 40

Célula protista ● 40

Autoevaluación ● 42

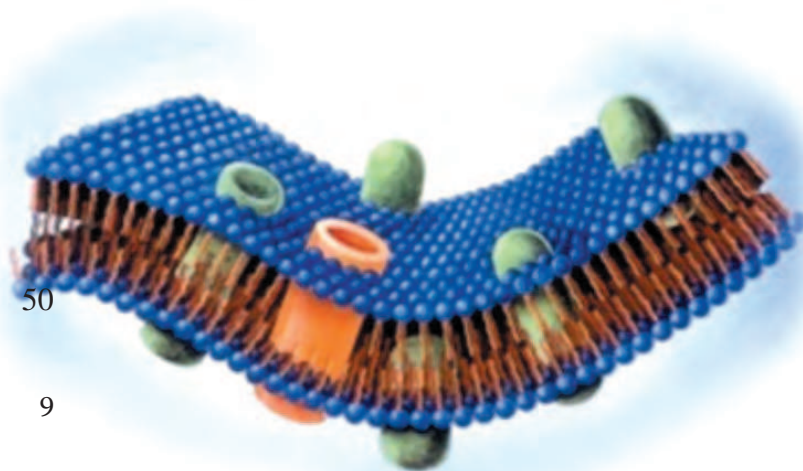
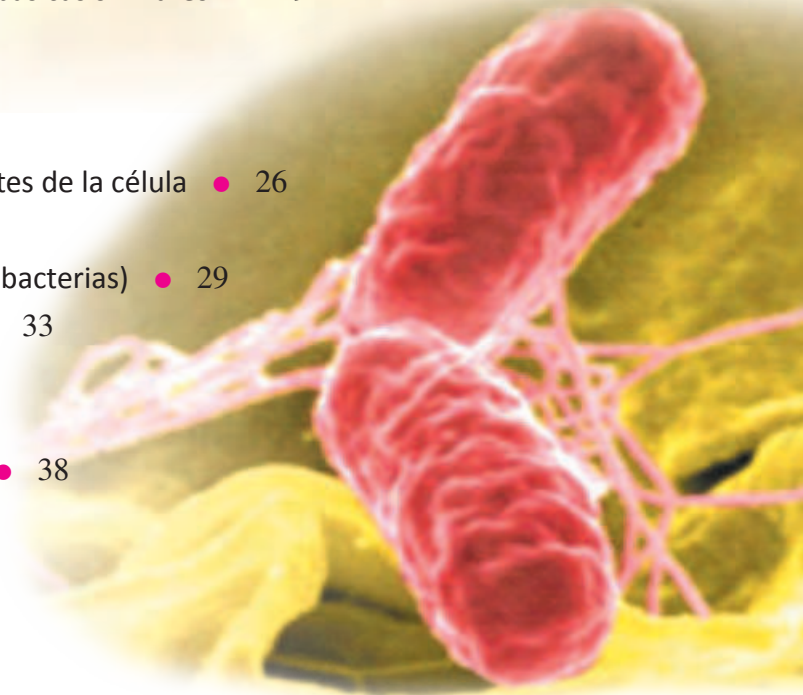
UNIDAD 2. Límites celulares

Biomembranas, membranas biológicas o membranas celulares ● 49

Membrana plasmática ● 50

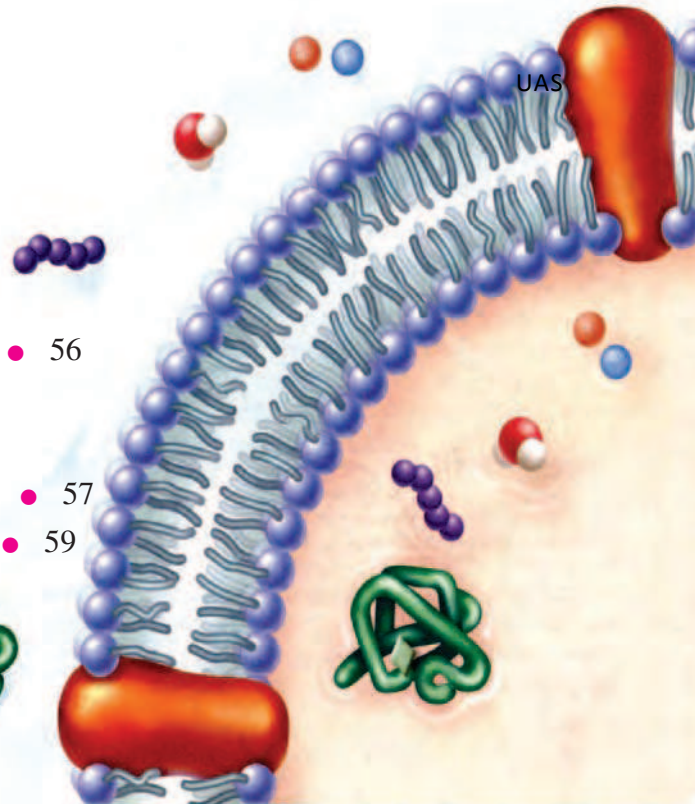
Estructura: modelo del mosaico fluido ● 50

Fosfolípidos ● 51



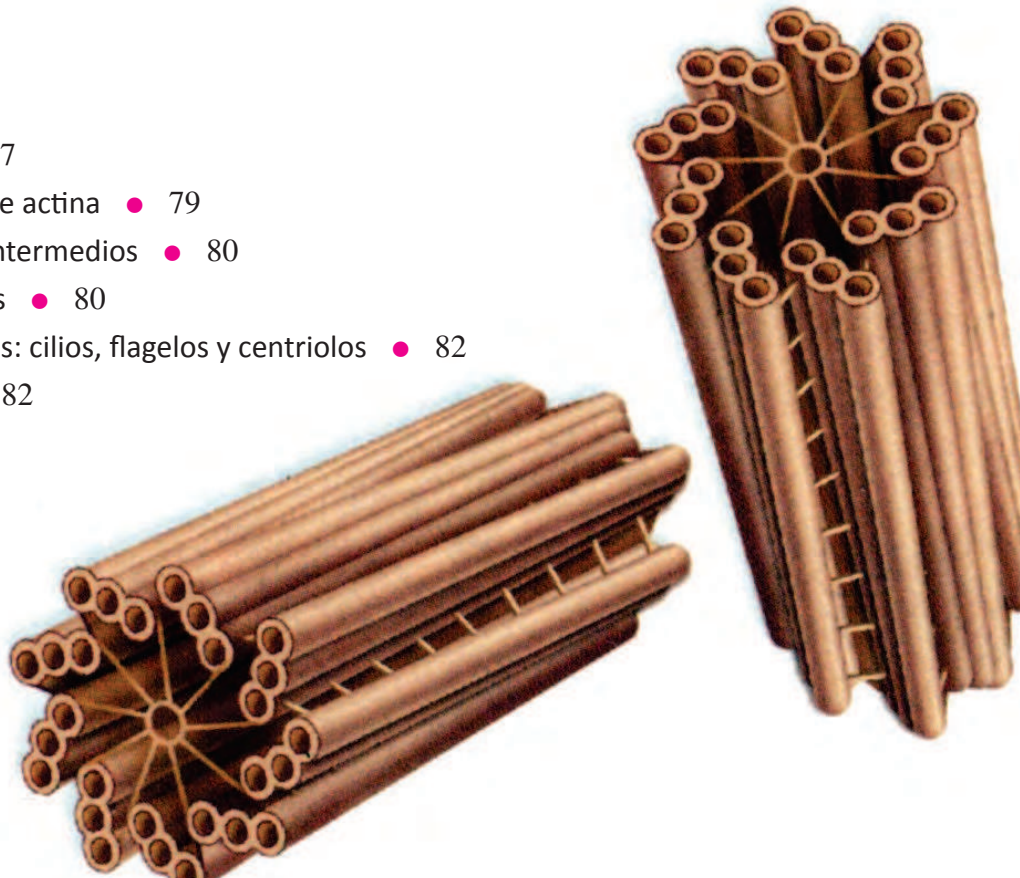
Contenido

- Colesterol ● 53
- Proteínas ● 53
- Carbohidratos ● 54
- Mecanismo de transporte de moléculas ● 54
- Transporte de moléculas de bajo peso molecular ● 56
 - Transporte pasivo ● 57
 - Difusión simple ● 57
 - Difusión simple a través de la bicapa ● 57
 - Difusión simple a través de canales ● 59
 - Difusión facilitada ● 60
 - Transporte activo ● 60
- Transporte de moléculas de elevado peso molecular ● 60
- Paredes celulares (vegetal y fungal) ● 64
 - Pared celular vegetal ● 64
 - Pared celular fungal ● 68
- Autoevaluación ● 69**



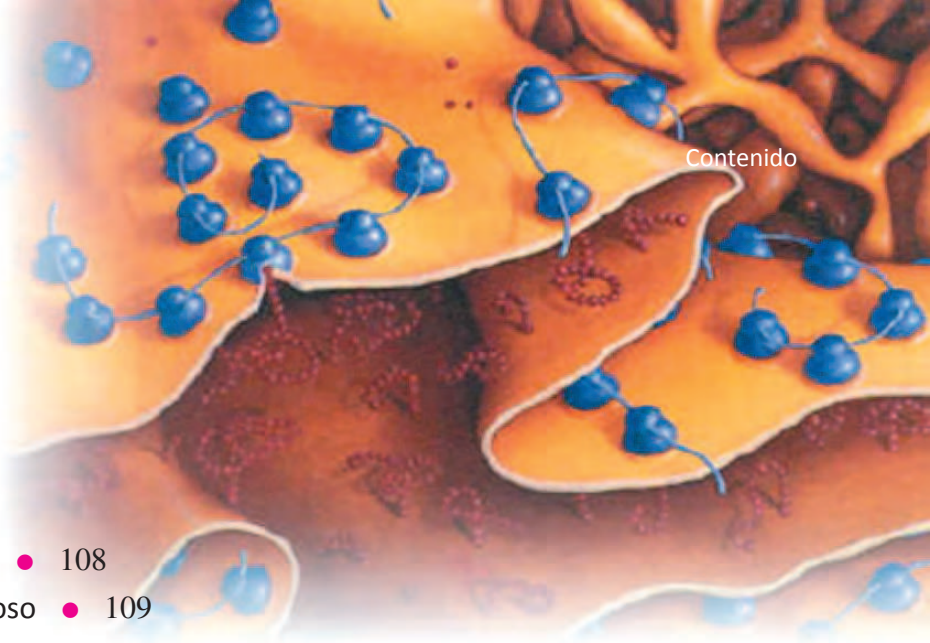
UNIDAD 3. Soporte, locomoción, almacenamiento y reciclado celular

- Citoplasma ● 77
 - Citosol ● 77
 - Citoesqueleto ● 77
 - Filamentos de actina ● 79
 - Filamentos intermedios ● 80
 - Microtúbulos ● 80
- Organelos microtubulares: cilios, flagelos y centriolos ● 82
 - Cilios y flagelos ● 82
 - Centríolos ● 84
- Vacuolas ● 85
- Lisosomas ● 87
- Autoevaluación ● 91**



UNIDAD 4. Síntesis celular

- Ribosomas ● 97
- Síntesis de proteínas ● 98
 - Transcripción ● 99
 - Traducción ● 102
- Retículo endoplásmico ● 107
 - Retículo endoplásmico liso ● 108
 - Retículo endoplásmico rugoso ● 109
- Aparato de Golgi ● 111
- Autoevaluación ● 112**

**UNIDAD 5. Captura y transformación de energía**

- Cloroplastos ● 119
- Fotosíntesis ● 123
 - Reacciones dependientes de la luz ● 124
 - Reacciones independientes de la luz ● 127
- Comparación de las dos fases de la fotosíntesis ● 128
- Factores que afectan la fotosíntesis ● 129
- Mitocondrias ● 130
- Respiración celular ● 132
 - Glucólisis ● 134
 - Fermentación ● 135
 - Fermentación alcohólica ● 136
 - Fermentación láctica ● 136
 - Ciclo de Krebs ● 138
 - Cadena de transporte de electrones ● 140
- Autoevaluación ● 143**

**UNIDAD 6. Control de funciones celulares y reproducción**

- Núcleo ● 151
 - Envoltura nuclear ● 152
 - Nucleoplasma ● 153



Contenido

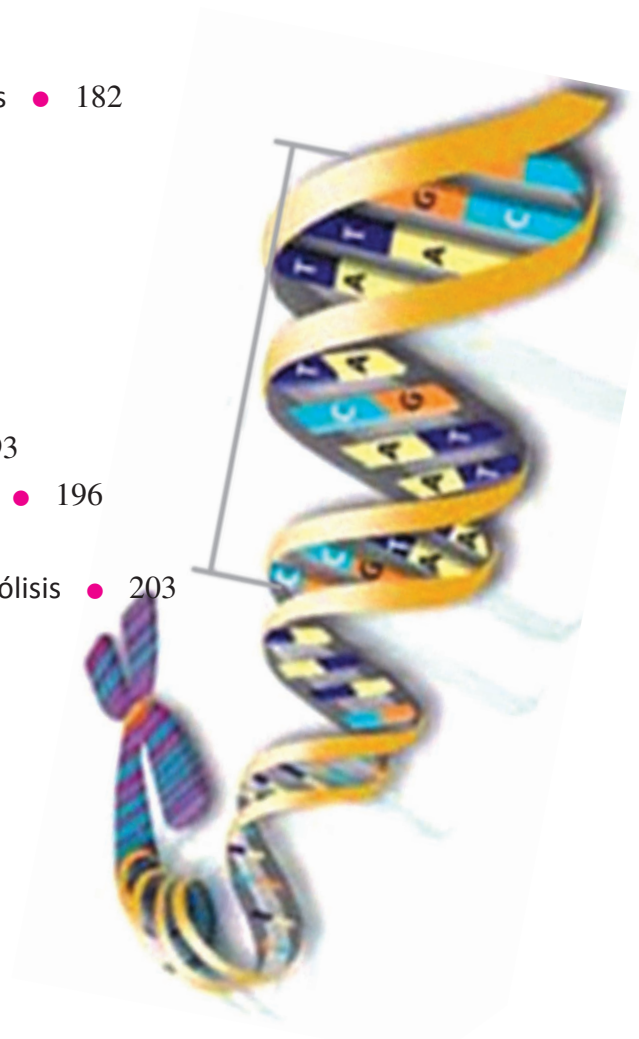
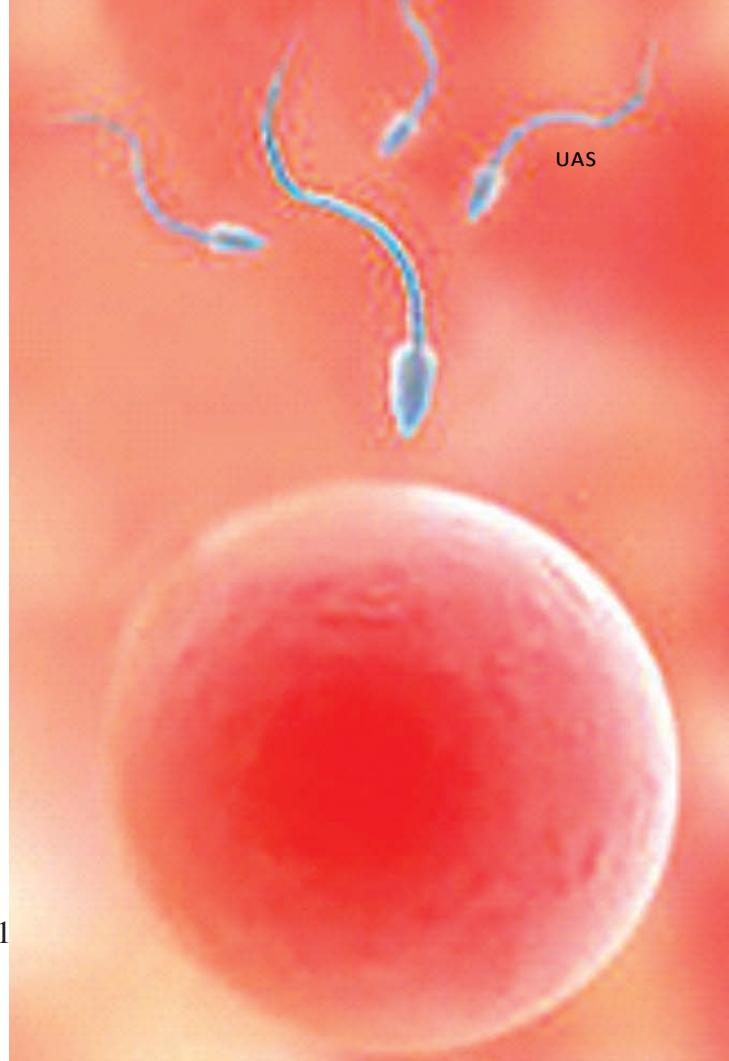
- Nucléolo ● 153
- Cromatina y cromosomas ● 153
- Funciones del núcleo ● 159
- Ciclo celular ● 159
 - Interfase ● 160
 - Fase M ● 161
 - Mitosis ● 161
 - Profase ● 162
 - Prometáfase ● 164
 - Metafase ● 165
 - Anafase ● 166
 - Telofase ● 167
- Citocinesis ● 167
- Reguladores del ciclo celular ● 168
- Apoptosis ● 170
- División celular de la célula procarionte ● 171
- Reproducción sexual y meiosis ● 173
 - Meiosis ● 175
 - Meiosis I ● 176
 - Meiosis II ● 179
- Comparativo entre los dos tipos de divisiones celulares ● 182
- Gametogénesis ● 182
 - Espermatogénesis ● 182
 - Ovogénesis ● 183
- Autoevaluación** ● 185

Actividades de laboratorio

- Células procarióticas y células eucarióticas ● 193
- Soluciones hipotónicas, isotónicas e hipertónicas ● 196
- Ósmosis y diálisis ● 200
- Fenómenos de ósmosis celular: turgencia y plasmólisis ● 203
- Cloroplastos y cromoplastos ● 206
- Cromatina sexual X (corpúsculo de Barr) ● 209

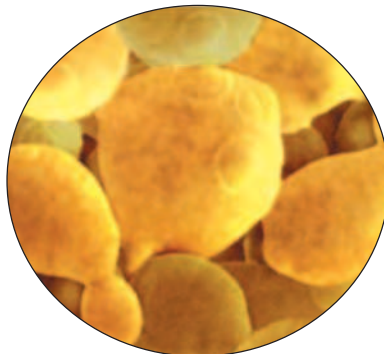
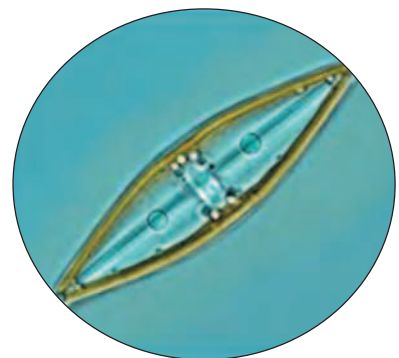
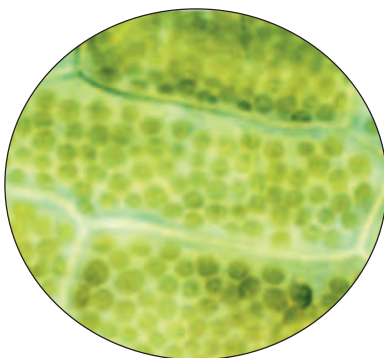
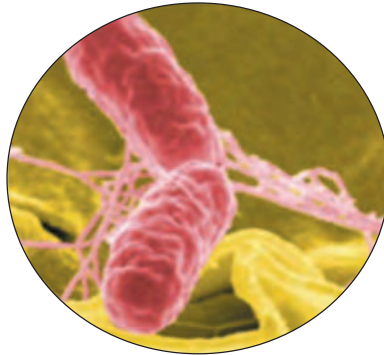
Bibliografía ● 213

Ilustraciones ● 215



UNIDAD 1

INTRODUCCIÓN A LA BIOLOGÍA CELULAR



Introducción a las células

Una pregunta fundamental en biología es ¿qué significa estar vivo? Por ejemplo, las personas, un colibrí, un cactus y una lombriz de tierra están vivos, mientras que las piedras, las rocas y la arena, no. ¿Pero cuales son las propiedades fundamentales que caracterizan a todos los seres vivos y los distinguen de la materia inerte o no viva?

La respuesta inicia con un hecho básico, histórico en la biología, el establecimiento de la **teoría celular**. Este hecho ocurre a mediados del siglo XIX y marca una revolución en el pensamiento humano ya que afirma que todos los seres vivos están constituidos por células.

Al igual que nosotros, cada célula que forma nuestro organismo, puede crecer, reproducirse, procesar información, responder a estímulos y llevar a cabo una asombrosa variedad de reacciones químicas. Estas habilidades definen la vida. Nosotros y otros organismos pluricelulares

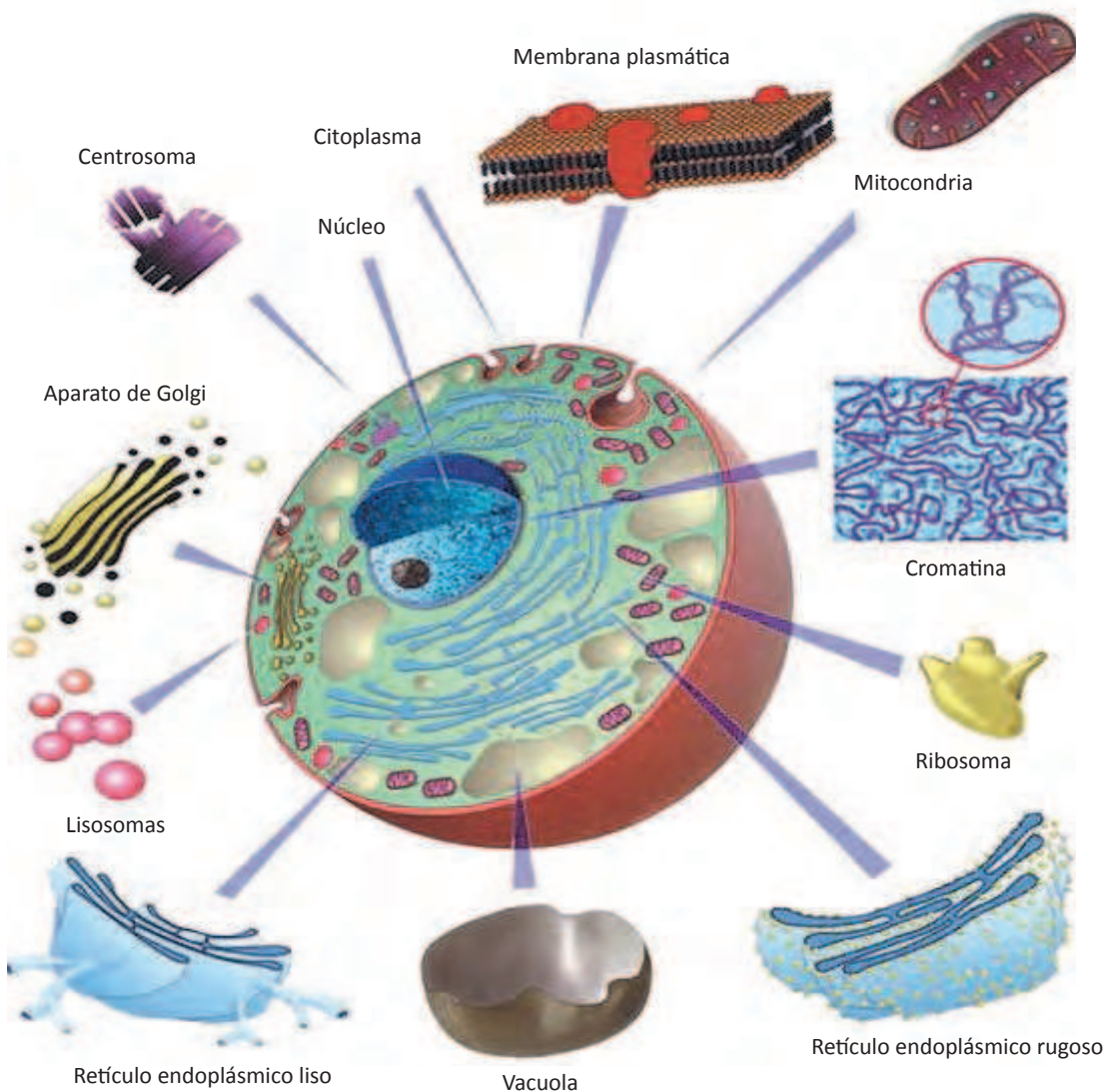


Figura 1.1 Esquema de una célula con amplificación de sus organelos.

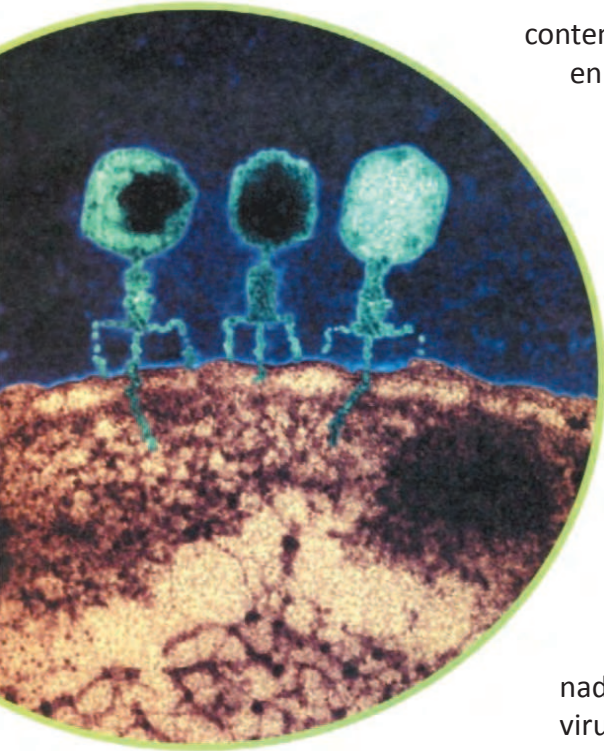


Figura 1.2 *Micrografía electrónica donde se observan tres bacteriófagos adheridos e inyectando a la célula bacteriana su material genético para poder replicarse dentro de ella.*

Los virus son estudiados por la biología porque producen numerosas enfermedades en los seres vivos. Si no produjeran enfermedades, es muy probable que no se supiera de su existencia. Algunas de estas enfermedades son: la varicela, gripe, SIDA, dengue, rabia, poliomielitis, hepatitis, resfrío común, etc.

La biología estudia las células con base a su constitución molecular y la forma en que juntas y organizadas constituyen organismos muy complejos como el ser humano. Para comprender como funciona, se desarrolla y envejece el cuerpo humano y que falla en caso de enfermedad, es necesario conocer la estructura y el funcionamiento de las células que lo integran.

Nos desarrollamos a partir de una sola célula, el **cigoto**. En 1827, el médico alemán Karl von Baer

contenemos miles de millones o billones de células organizadas en estructuras complejas, pero muchos organismos son solo una simple célula. Aún estos organismos unicelulares exhiben todas las propiedades que distinguen lo viviente, lo que indica que la **célula** es la unidad fundamental de la vida, es decir, la vida comienza en las células. Todos los organismos vivos están formados por células, de tal manera que ningún organismo puede ser considerado un ser vivo, si no contiene al menos una célula.

La célula, como nos dice el investigador mexicano **Ismael Ledezma**, es la parte más pequeña que constituye a los seres vivientes, el común denominador, esto es, la unidad que caracteriza a los seres vivos, el principio o unidad fundamental para la organización y funcionamiento del cuerpo y en última instancia, de la vida.

Si las células son la unidad básica de la materia viviente, nada inferior a la célula puede ser considerado un ser vivo. Los virus, por ejemplo, son paquetes compactos de información genética (en forma de ADN o de ARN) revestido, en general por proteínas, pero carecen de la capacidad de reproducirse por sí mismos. En cambio, se copian solo parasitando la maquinaria reproductiva de las células que invaden. Los virus son inertes e inactivos cuando están fuera de las células hospedadoras, pero ejercen un control nocivo una vez que ingresan.

Por lo tanto, a los virus no se les considera seres vivos, debido a que no pueden crecer o reproducirse por sí mismos.

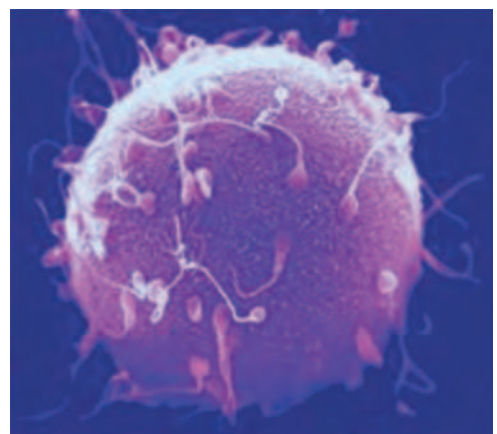


Figura 1.3 *La unión de dos células sexuales (ovocito y espermatozoide) origina un cigoto, del que se formarán aproximadamente 100 billones de células humanas.*

descubrió que los animales crecen a partir de ovocitos provenientes de los ovarios de la madre. La fecundación del ovocito por células espermáticas produce un cigoto, una célula visualmente pequeña de 200 micrómetros (μm) de diámetro.

Todo ser humano comienza como un cigoto, en el cual están todas las instrucciones necesarias para construir el cuerpo humano, constituido por aproximadamente **100 billones de células** (10^{14}), lo que es una maravilla. El **desarrollo** comienza con la división del cigoto en dos, cuatro y ocho células que forman el embrión en su fase más temprana.

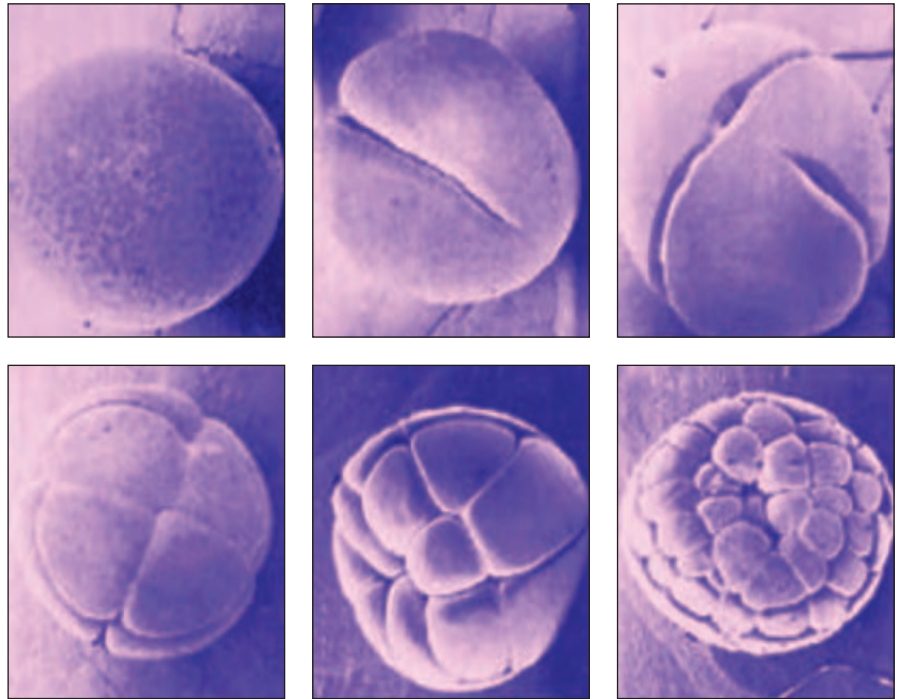
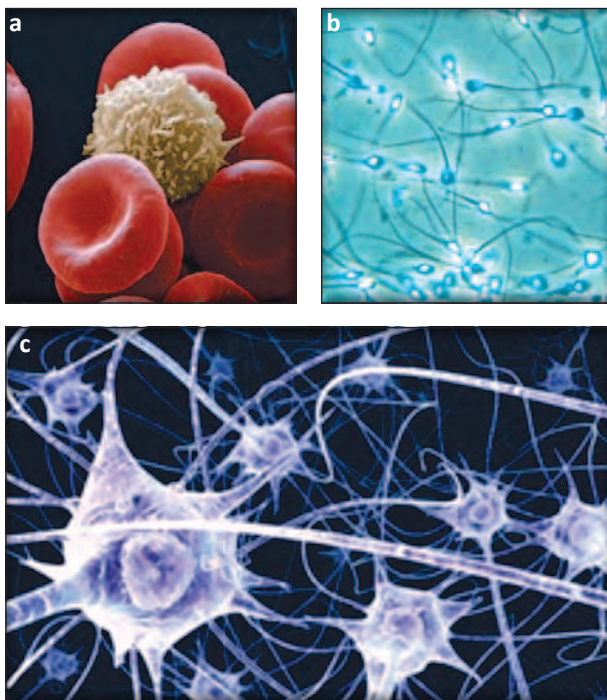


Figura 1.4 Micrografías del cigoto y del desarrollo embrionario donde se observan la división del cigoto en 2, 4, 8, 16, etc., células.

El **desarrollo** comienza con la división del cigoto en dos, cuatro y ocho células que forman el embrión en su fase más temprana.



La continua proliferación celular y, luego la **diferenciación** en distintos tipos de células dan lugar a cada tejido de nuestro cuerpo. Una célula inicial resultante de la fecundación, genera cientos de diversas clases de células que difieren en contenido, forma, tamaño, color, movilidad y composición de la superficie. Los genes controlan la diversificación celular, para constituir diferentes clases de células, por ejemplo, musculares, dérmicas, óseas, neuronas, glóbulos rojos, glóbulos blancos, etc. Esto no es suficiente para producir un organismo humano. Las células deben **organizarse** en tejidos, órganos, aparatos o sistemas, que constituirán un nuevo ser vivo.

Figura 1.5 a) Micrografía que muestra un glóbulo blanco rodeado de glóbulos rojos, b) micrografía espermatozoides humanos, (c) dibujo de neuronas.

Concluyendo, las células son las unidades fundamentales de la vida, y la biología celular es el medio al que debemos recurrir para encontrar la respuesta a la pregunta de qué es la vida y cómo funciona. Además, la biología celular puede proporcionarnos respuestas a los interrogantes sobre nosotros mismos: ¿De dónde venimos? ¿Cómo nos desarrollamos a partir de un solo ovocito fecundado? ¿Por qué enfermamos, envejecemos y morimos?

Actualmente la biología celular es una ciencia rica, integradora que reúne las siguientes disciplinas: bioquímica, biofísica, microscopía, genética, fisiología, computación y biología del desarrollo. Cada uno de estos campos tiene su propio interés y estilo de experimentación.

Unidad y diversidad de las células

La mayoría de las células son invisibles para el ojo humano; presentan una sorprendente variedad de **tamaños** y **formas**. Se ha demostrado que la forma está condicionada por la función que realizan.

Algunas de las células bacterianas más pequeñas tienen forma cilíndrica de menos de 1 μm de longitud, mientras que las neuronas son de forma compleja con numerosas prolongaciones delgadas que miden varios metros de longitud. La mayoría de las células vegetales miden de 20-30 μm de longitud, tienen forma poligonal y pared celular rígida. En promedio, las células del reino animal miden de 10-60 μm de diámetro; su membrana celular es muy delgada y flexible.

Tabla 1.1 Equivalencias de longitud utilizadas en microscopía.	
1m	= 10 ³ mm = 10 ⁶ μm = 10 ⁹ nm = 10 ¹⁰ A
1mm	= 10 ³ μm = 10 ⁶ nm = 10 ⁷ A
m	= metro
mm	= milímetro
μm	= micrómetro
nm	= nanómetro
A	= Angstrom

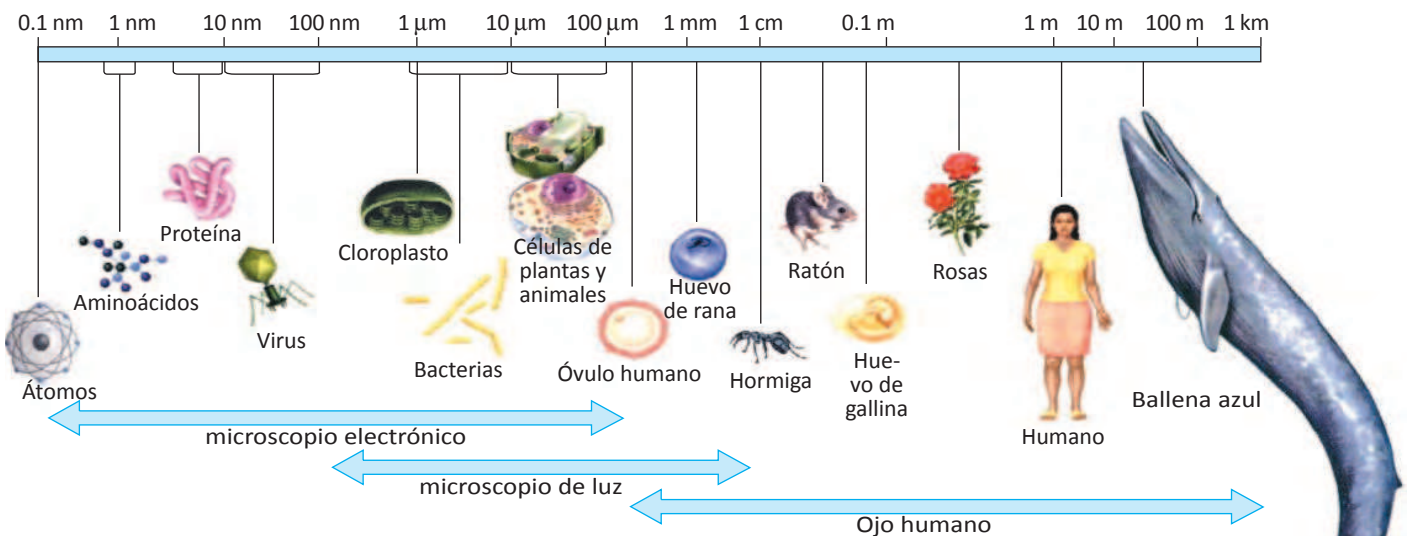


Figura 1.6 El tamaño de los seres vivos y sus componentes. Se usa algún tipo de microscopio para ver la mayoría de las células y sus niveles menores de organización biológica. Las células son visibles con el microscopio de luz pero con poco detalle, de manera que es necesario usar el microscopio electrónico para ver los organelos celulares con precisión, incluso, para observar virus y las mismas moléculas que lo constituyen.

No existe relación entre el tamaño del organismo y el tamaño de sus células; tampoco existe relación entre el tamaño celular y su función. En biología se utiliza de manera habitual el sistema métrico decimal (SMD). El centímetro es la centésima parte de un metro, el milímetro es la milésima parte del metro. Un centímetro tiene 10 milímetros. Si a un milímetro se le divide en mil partes, una de esas partes es un micrómetro (μm), es decir, el micrómetro es la milésima parte del milímetro y si a un micrómetro lo dividimos en mil partes, una de esas partes se llama nanómetro (nm), éste, es la milésima parte del micrómetro y la millonésima parte del milímetro.

Algunas células se mueven con rapidez y tienen estructuras que cambian también rápidamente. Las amebas y glóbulos blancos pueden variar su forma a medida que se desplazan mediante la formación de pseudópodos. Los espermatozoides tienen un gran flagelo que les permite la locomoción. Otras células son en gran parte estacionarias y estructuralmente estables como es el caso de las células epiteliales que recubren cavidades.

Las células también son muy diversas en cuanto a sus requerimientos químicos. Algunas necesitan oxígeno para vivir y para otras éste es letal.

Algunas requieren poco más que aire, luz solar y agua como materiales básicos; otras necesitan una mezcla de moléculas complejas producidas por otras células.

Las células vivas tienen propiedades básicas similares

A pesar de que todos los organismos vivos presentan muchísimas variaciones en su aspecto exterior, son fundamentalmente similares en el interior. Actualmente, gracias a los descubrimientos de la bioquímica y de la biología molecular, se sabe que las células se parecen entre sí de una manera asombrosa en los detalles de sus propiedades químicas y que comparten la misma maquinaria para la mayoría de sus funciones básicas. Todas las células están compuestas por las mismas clases de moléculas que participan en los mismos tipos de reacciones químicas. En todos los organismos vivos, las instrucciones genéticas (genes) están almacenadas en moléculas de ADN, escritas en el mismo código químico, construidas con los mismos componentes básicos químicos, interpretadas esencialmente por la misma maquinaria química y duplicadas de la misma forma para permitir la reproducción del organismo.

En cada célula, las instrucciones contenidas en el ADN son transcritas, en ARN mensajero. A su vez, los mensajes transportados por esta molécula son traducidos a proteínas.

Las proteínas están compuestas por aminoácidos, y todos los organismos vivos utilizan el mismo conjunto de 20 aminoácidos para fabricar proteínas. De esta manera, la misma maquinaria bioquímica básica, ha servido para generar toda la gran diversidad de organismos vivos.

Historia de la biología celular

Por lo general, las células son muy pequeñas para observarlas a simple vista. Fue gracias a la invención del microscopio en el siglo XVII que se les pudo observar. A partir de este momento y durante cientos de años, todo lo que se supo sobre las células se descubrió con este instrumento. La invención del microscopio óptico dependió de los avances en la producción y perfeccionamiento de las lentes de cristal.

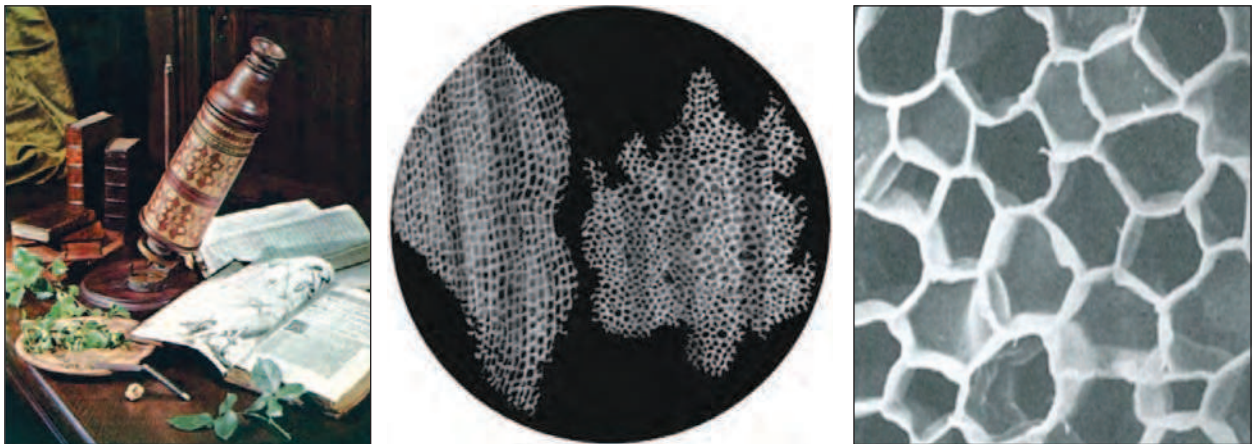


Figura 1.7 A la izquierda, microscopio de Robert Hooke; al centro, dibujo realizado por Hooke de las paredes celulares del tejido de corcho (corteza) y micrografía de barrido de un corte de corcho. Todo lo que se observa son las paredes celulares, ya que las células de este trozo de corcho murieron y se desintegraron, dejando los espacios vacíos.

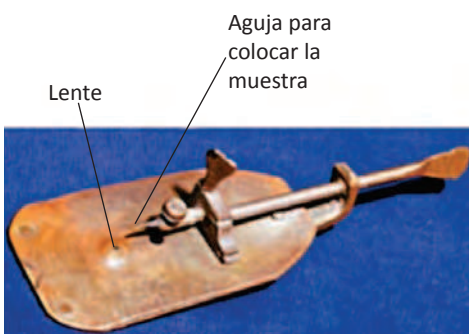


Figura 1.8 Leeuwenhoek, su microscopio y algunas de sus observaciones.

Las células fueron descritas por primera vez en 1665 por el científico inglés **Robert Hooke**, en su libro *Micrographia*. Utilizando un microscopio que el mismo fabricó, observó un delgado corte de un trozo de corcho, dibujó y describió lo observado. Hooke eligió el término *célula* porque el tejido le recordaba las pequeñas habitaciones (celdas) en las que viven los monjes. Curiosamente lo que Hooke observó no eran realmente células vivas, sino las paredes celulares que quedaron después de que murieran las células vegetales del corcho. La palabra *célula* propuesta por Hooke desaparece en el tiempo inmediato y es redescubierta por Stefano G. Gallini y Jacob Fidelis Ackermann entre 1792 y 1793, es decir, después de más de un siglo.

Paralelamente a Robert Hooke, hubo otros investigadores que querían conocer todo lo que el microscopio podía revelar. Entre ellos **Marcelo Malpighi** y **Nehemiah Grew** en 1671, por separado, estudiaron la estructura de los órganos vegetales encontrando pequeñas cavidades que llamaron utrículos o vesículas para referirse a lo que Hooke llamó células.

Mucho más tarde, los científicos reconocieron que el contenido que encierran las paredes celulares es la parte más importante de las células vivas.

Por aquellos mismos años, el naturalista holandés **Anton Van Leeuwenhoek** examinó células vivas con unas pequeñas lentes que había fabricado, ya que era un experto en el pulido de lentes y fue capaz de am-

pliar imágenes poco más de 200 veces. Entre sus descubrimientos más importantes están las bacterias, protistas, células de la sangre y espermatozoides. Leeuwenhoek era un comerciante y no estaba formalmente preparado como científico. Sin embargo, su habilidad, curiosidad y diligencia a la hora de compartir sus descubrimientos con los científicos de la Sociedad Real de Londres, dio a conocer la vida microscópica a los científicos de todo el mundo.

Desafortunadamente, Leeuwenhoek no compartió las técnicas y por eso fue que hasta 100 años después, a finales del siglo XIX, cuando los microscopios se desarrollaron lo suficiente como para que los biólogos centraran seriamente su atención en el estudio de las células.

Casi durante 200 años, el microscopio óptico sería un instrumento exótico, accesible sólo para pocas personas con recursos económicos. En el siglo XIX comenzó a ser ampliamente utilizado para la observación de las células. La aparición de la biología celular como una ciencia independiente fué un proceso gradual al que contribuyeron muchos investigadores, aunque en general se considera que su nacimiento oficial está marcado por las publicaciones de dos biólogos alemanes: la del botánico Matthias Schleiden en 1838 y la del zoólogo Theodor Schwann en 1839. Publicaciones que fueron la base para el establecimiento de la **teoría celular**.

En sus artículos Schleiden y Schwann documentaron los resultados de una investigación sistemática realizada con el microscopio óptico; de tejidos de plantas, en el caso de Schleiden, de tejidos animales por Schwann. Ambos mostraron que las células eran los componentes básicos de todos los tejidos vivos.

Teoría celular

En su artículo **Matthias Schleiden**, afirmó que todas las plantas están constituidas de células, como las que puedes ver en la figura 1.9.

Mientras que **Theodor Schwann**, concluyó que todos los animales están formados por células.

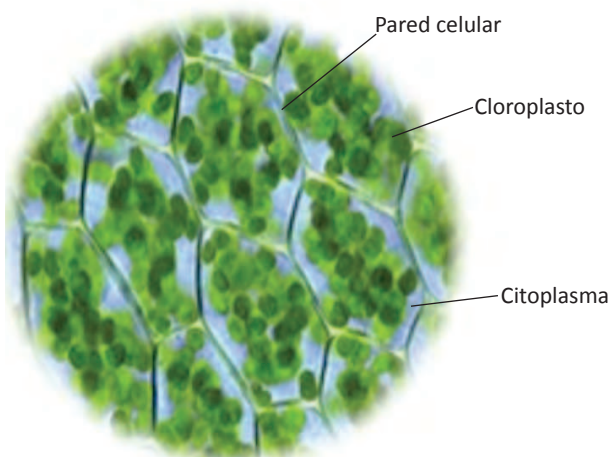


Figura 1.9 La teoría celular afirma que las células son las unidades básicas de todos los seres vivos. Estas son las células de una hoja de Elodea. Compara esta micrografía con el dibujo de Hooke y verás que las células del dibujo se encuentran vacías.

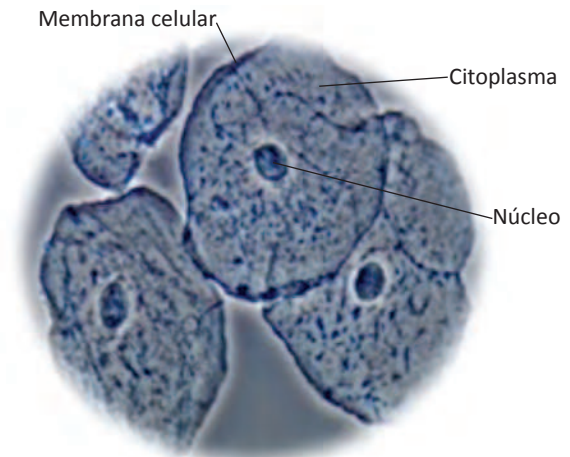


Figura 1.10 El zoólogo Theodor Schwann observó diversas células animales de diferentes partes del organismo y afirmó que todos los animales están hechos de células. La micrografía es de células que se nos desprenden a diario del epitelio bucal.

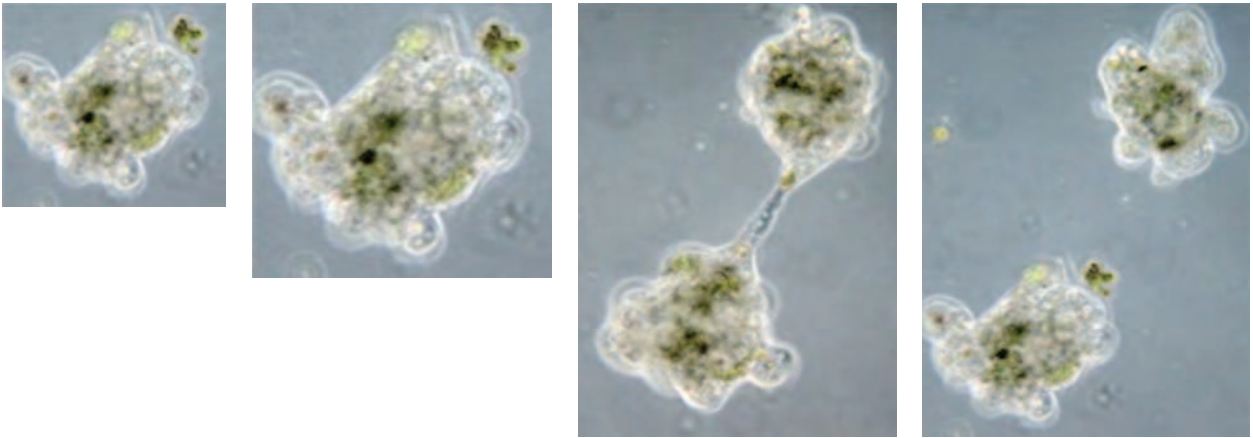


Figura 1.11 Rudolf Virchow propone que todas las células se derivan de células existentes. Por ejemplo, para dividirse una ameba, aumenta su contenido celular y en seguida se parte en dos.



Ambos científicos utilizaron el razonamiento inductivo para concluir que todas las plantas y animales estaban formadas por células. Posteriormente, el físico alemán **Rudolf Virchow**, observó que las células se dividían y daban lugar a células hijas.

En 1855, Virchow propuso que las células nuevas se forman sólo por la división de células previamente existentes, completando así la teoría celular.

El trabajo de estos tres científicos: **Schleiden, Schwann y Virchow** fueron confirmados por otros biólogos y contribuyeron en gran medida al desarrollo del concepto fundamental de la biología, la **teoría celular**, cuyos postulados son:

- Todos los seres vivos están constituidos por células.
- Las células son las unidades básicas de la estructura (organización) y función de los seres vivos.
- Todas las células proceden de otras células, es decir, se producen nuevas células a partir de células existentes.



Figura 1.12 Theodor Schwann, Matthias Schleiden y Rudolf Virchow (de arriba hacia abajo).

Hacia finales del siglo XIX fueron identificados los principales organelos que se conocen ahora. La mitocondria fue observada por varios autores, y fue nombrada así por Carl Benda en 1898, el mismo año en que Camillo Golgi descubrió el aparato que lleva su nombre. En 1879, Walther Flemming, empleando el colorante de hematoxilina, descubrió que solo teñía de azul el núcleo; tiñó unos pequeños gránulos que estaban en el interior del núcleo y los llamó cromatinas. Flemming también observó y descubrió la división cromosómica que ocurre durante el proceso de la mitosis, y acuñó este término. La palabra cromosoma fue usada por primera vez por Wilhelm Waldeyer en 1888.

Microscopía

Una de las herramientas más importantes que usan los biólogos para estudiar las estructuras celulares es el microscopio.

El **microscopio óptico (MO)** es el más utilizado por la mayoría de los estudiantes. Debido a que contiene varias lentes; el microscopio óptico moderno se denomina **microscopio óptico compuesto**. En este microscopio la luz visible pasa a través de la muestra que se está observando por medio de las lentes. Estas refractan (desvían) la luz, ampliando la imagen.

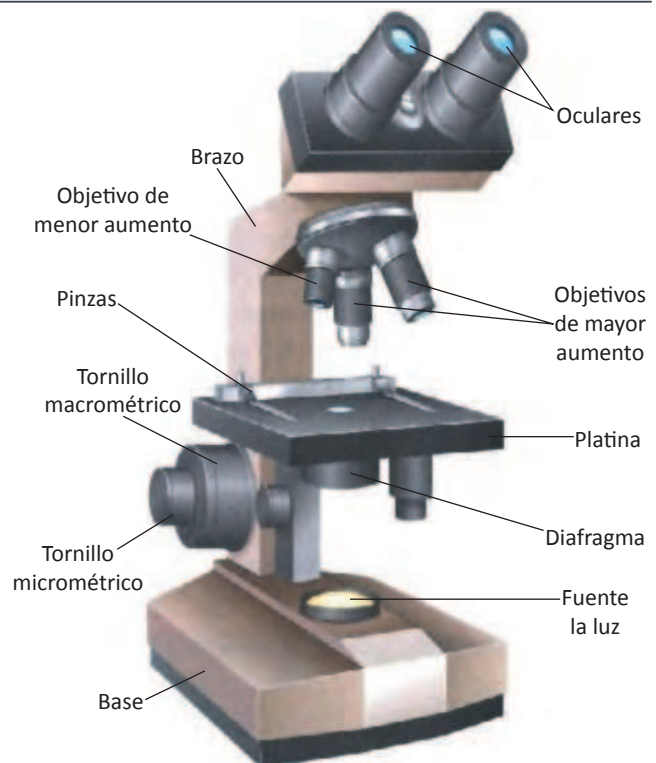
La claridad con la que se puede ver un objeto pequeño, la determinan dos características: el **aumento** y el **poder de resolución**. El aumento es la diferencia entre el tamaño de la imagen vista con el microscopio y el tamaño real del objeto. Los mejores microscopios ópticos normalmente amplían un objeto más de 1000 veces. La resolución o poder de resolución, es la capacidad para distinguir detalles finos en una imagen; se define como la distancia mínima entre dos puntos a la cual ambos se pueden ver separados y no como un único punto borroso. El poder de resolución depende de la calidad de las lentes y de la longitud de onda de la luz de iluminación. Mientras más pequeña es la longitud de onda, la resolución aumenta.



Figura 1.13 Protozoo *Paramecium* observado con el microscopio óptico.

Tabla 1.2 Partes de un microscopio óptico compuesto.

Parte	Función
Base	Da soporte al microscopio
Brazo	Se usa para transportar el microscopio
Platina	Plataforma donde se coloca la laminilla con la muestra
Pinzas	Sujetan la preparación microscópica
Oculares	Amplia la imagen para el usuario
Objetivos	Lentes de menor y mayor aumento que amplificaran la muestra
Tornillo macrométrico	Se usa para enfocar la imagen bajo el objetivo de menor aumento
Tornillo micrométrico	Tornillo más pequeño que se usa para enfocar la imagen con el objetivo de mayor aumento
Diafragma	Controla la cantidad de luz que pasa a través de la muestra
Fuente la luz	Provee luz para observar la muestra



La luz visible utilizada por los microscopios ópticos tiene longitudes de onda que oscilan entre los 400 y 700 nm; esto limita la resolución de estos microscopios a detalles no más pequeños que el diámetro de una célula bacteriana de aproximadamente 0.2 μm . A principios del siglo XX surgieron versiones mejoradas del microscopio óptico así como también de compuestos que teñían las diferentes estructuras celulares. Cuando los biólogos utilizaron estas herramientas, descubrieron que las células tienen muchas estructuras internas diferentes, los organelos. La contribución de los químicos orgánicos al desarrollo de colorantes biológicos, fue una valiosa aportación, ya que el interior de muchas células es transparente. Sin embargo, la mayoría de los métodos utilizados para preparar y teñir células para su observación, también las matan en el proceso.

En la actualidad pueden estudiarse las células vivas utilizando microscopios ópticos con sistemas ópticos especiales: microscopio de campo brillante, microscopio de campo oscuro, microscopio de contraste de fase, microscopio de contraste de interferencia diferencial de Nomarski, microscopio de fluorescencia, microscopio confocal, etc. Aún con éstos microscopios mejorados y las técnicas para teñir células, los microscopios ópticos solo pueden distinguir los detalles más grandes de muchas de las partes de las células. En la mayoría de los casos, sólo se puede ver claramente el contorno de los organelos más grandes.

Sin embargo, para obtener el máximo aumento y la mejor resolución, se debe utilizar el microscopio electrónico, que puede revelar detalles de hasta unos pocos nanómetros. En 1937, Ernst Ruska y Max Knoll, físicos alemanes, construyeron el primer microscopio electrónico.

El **microscopio electrónico (ME)** es utilizado para estudiar los detalles más finos, es decir, la **ultraestructura** de las células. Su uso se generalizó en la década de 1950.

La microscopía electrónica permite a los biólogos observar la estructura de las membranas biológicas, que tienen solo dos moléculas de espesor. Incluso con este microscopio se puede observar algunas de las grandes moléculas individuales de una célula.

Los microscopios electrónicos proporcionan una imagen de alta resolución que se puede ampliar enormemente.

Mientras que el mejor microscopio óptico tiene un poder de resolución aproximadamente 500 veces mayor que la del ojo humano, el microscopio electrónico multiplica el poder de resolución en más de 10,000 veces.

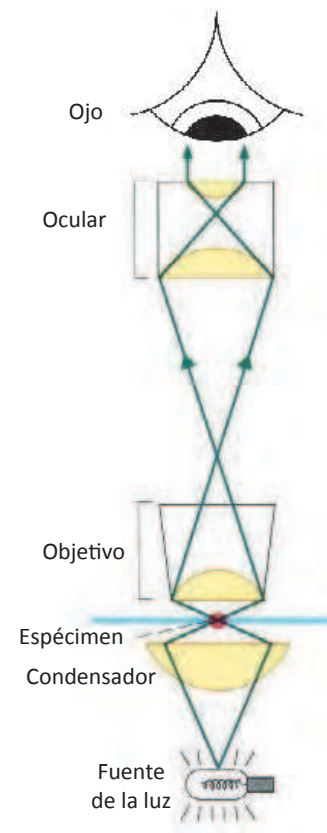


Figura 1.14 Trayectoria de la luz en un microscopio óptico.

Los dos tipos de microscopios electrónicos son: microscopio electrónico de transmisión y el microscopio electrónico de barrido.

El **microscopio electrónico de transmisión (MET)** es, en principio, similar a un microscopio óptico, pero emplea un haz de electrones en lugar de un haz de luz, y bobinas magnéticas para enfocar el haz en lugar de lentes de cristal. La muestra debe de ser muy delgada por lo que se le hacen cortes extraordinariamente finos (50-100 nm de grosor) con una cuchilla de diamante. Enseguida se coloca el corte sobre una rejilla metálica. Por lo general, el contraste se introduce tiñendo la muestra con metales pesados. El MET tiene un aumento útil de hasta un millón de veces y, en muestras biológicas, puede resolver detalles de alrededor de 2 nm.

En el **microscopio electrónico de barrido (MEB)**, el haz de electrones no pasa a través de la muestra. En su lugar ésta se recubre con una fina película de oro o algún otro metal. Cuando el haz de electrones golpea varios puntos de la superficie de la muestra, se emiten electrones secundarios cuya intensidad varía dependiendo del contorno de la superficie. Los patrones de emisión registra-

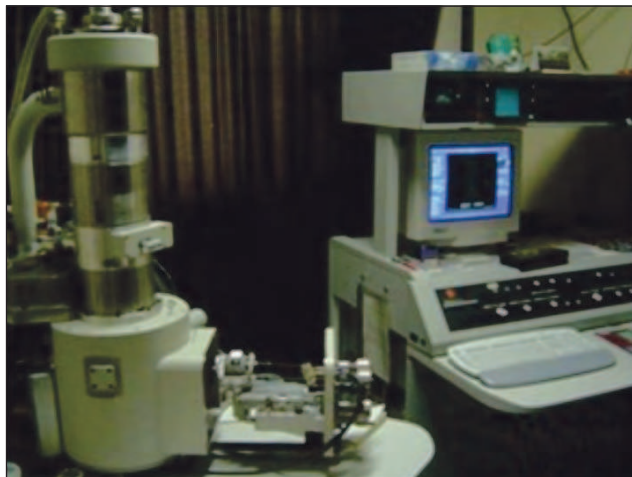
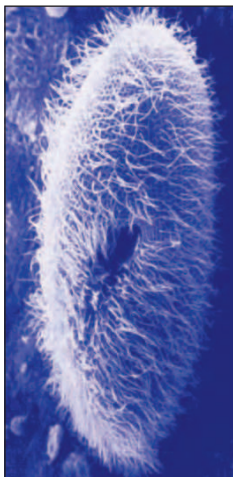


Figura 1.16 El protozoo *Paramecium* observado con microscopio electrónico de barrido (MEB).

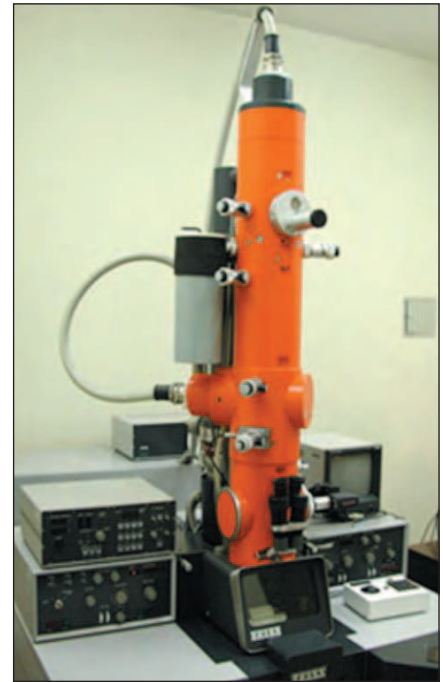
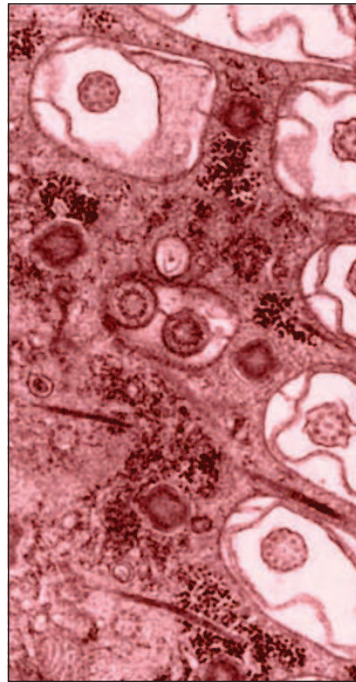


Figura 1.15 Una pequeña parte de un corte fino de *Paramecium* observado con el microscopio electrónico de transmisión (MET).

dos de los electrones secundarios proporcionan una imagen 3-D (tridimensional) de la superficie. El MEB da información acerca de la forma y características externas de la muestra que no se pueden obtener con el MET. El MEB puede resolver detalles de un rango de 2 a 20 nm, lo que depende del aparato.

En resumen, el MO, el MET y el MEB se enfocan utilizando principios similares. Un haz de luz o un haz de electrones se proyectan por medio de un condensador sobre la muestra y se amplifican a través del objetivo y el ocular en el caso del microscopio óptico y por el objetivo y el proyector en el caso del MET. La imagen del MET se proyecta en una pantalla fluorescente y la del MEB en una especie de pantalla de televisión.

Técnicas para estudiar los componentes de la célula

El ME es una herramienta potente para estudiar las estructuras celulares, pero tiene limitaciones ya que los métodos utilizados para preparar las células para microscopía electrónica las mata y pueden alterar su estructura. Para determinar las funciones de los organelos, los biólogos utilizan diversas técnicas bioquímicas.

El **fraccionamiento celular** es una técnica para purificar diferentes partes de la célula de tal manera que se puedan estudiar mediante métodos físicos y químicos. Por lo general, las células se fraccionan tan suavemente como es posible y la mezcla, denominada extracto celular, se somete a una **fuerza centrífuga** en un instrumento llamado centrifuga.

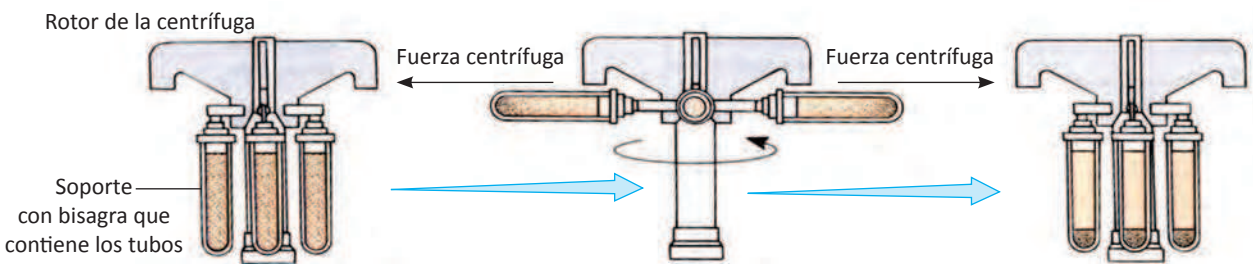


Figura 1.17 Esquema que nos muestra la centrifugación para que las partículas muy densas se depositen en el fondo del tubo y formen un sedimento.

Las potentes ultracentrífugas pueden centrifugar a velocidades que superan las 100,000 revoluciones por minuto (rpm), generando una fuerza de 500,000 por G (una G equivale a la fuerza de la gravedad). La fuerza centrífuga separa el extracto en dos fracciones: un **sedimento** y un **sobrenadante**. El sedimento que se forma en el fondo del tubo contiene los materiales más pesados, los núcleos celulares.



El sobrenadante es el líquido que queda por encima del sedimento y contiene las partículas menos densas o ligeras, moléculas disueltas e iones.

Después de eliminar el sedimento, el sobrenadante se pue-

Figura 1.18 Dibujo que muestra la centrifugación diferencial.

de nuevamente centrifugar a mayor velocidad, es decir, cada vez a mayor número de revoluciones por minuto, para obtener un sedimento que contiene los sedimentos celulares más pesados como son las mitocondrias y los cloroplastos. Esta técnica se denomina **centrifugación diferencial**.

Las membranas y organelos de los sedimentos (precipitados) resuspendidos pueden purificarse adicionalmente mediante **centrifugación en gradiente de densidad**. En este procedimiento, el tubo de centrifuga se llena con una serie de soluciones de densidad decreciente. Por ejemplo, se pueden utilizar soluciones de sacarosa. La concentración de sacarosa es mayor en el fondo del tubo y disminuye gradualmente, de tal manera que la concentración menor está en la parte superior.

El sedimento resuspendido se coloca en una capa sobre la parte superior del gradiente de densidad. Puesto que la densidad de los organelos es diferente, durante la centrifugación cada uno migra y forma una banda en la posición del gradiente en la que su densidad iguale la de la solución de sacarosa.

Los organelos purificados se examinan mediante pruebas bioquímicas para determinar qué clase de proteínas y otras moléculas los constituyen. También se estudia la naturaleza de las reacciones químicas que tienen lugar dentro de ellos.

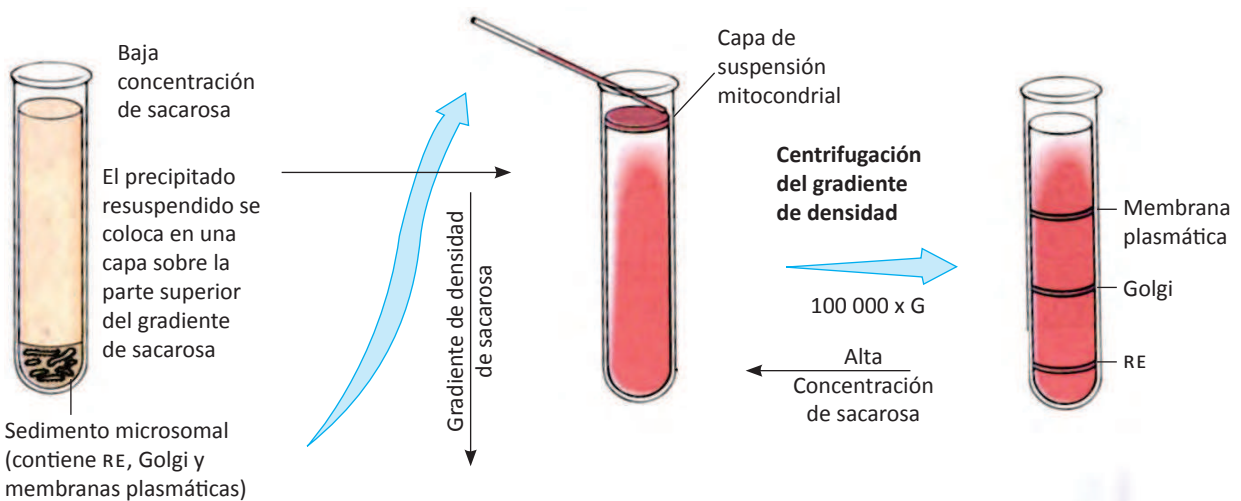


Figura 1.19 La centrifugación en gradiente de densidad se realiza para que los componentes del sedimento microsomal (retículo endoplásmico, aparato de Golgi y membranas plasmáticas) puedan separarse.

Células procariontas

Las células son bioquímica, estructural y funcionalmente muy complejas; se clasifican en **procariontas** y **eucariotas**. El término procarionta significa "antes del núcleo". Todas los seres vivos están formadas de uno de estos dos tipos de células. Las células procariontes constan de un único compartimento cerrado rodeado por la membrana plasmática, carecen de un núcleo definido y tienen una organización interna bastante sencilla, comparada con la organización de las células eucariotas.

Todos los organismos procariontes pertenecen al **reino eubacteria** o al **reino arqueobacteria**. Aunque las células procariontas no tienen compartimentos rodeados por membrana, muchas

proteínas están localizadas en el interior acuoso o citosol, lo que indica que presentan una organización interna. Una sola bacteria de *Escherichia coli* tiene un peso seco de 25×10^{-14} gramos. Se estima que 1 - 1,5 kilogramos del peso promedio de un ser humano se debe a las bacterias, sobre todo a las que forman la flora normal en el intestino grueso. Se han encontrado células procariontes a 11 kilómetros de profundidad en el océano y a 65 kilómetros por encima en la atmósfera; como se ve, son bastante adaptables. La cantidad de átomos de carbono almacenado en las bacterias, es casi tanto el almacenado en las plantas.

Las células procariotas y eucariotas comparten características comunes, que son:

Características estructurales

- Membrana plasmática o plasmalema, que las separa y comunica con el exterior.
- Pared celular, que rodea a la membrana celular (en eucariotas: vegetales, fungales y algunos protistas).
- Ribosomas, organismos que sintetizan proteínas.
- Citoplasma, que forma la mayor parte del volumen celular y en el que están inmersos los organelos celulares.
- Ácido desoxirribonucleico (ADN), es el material hereditario de los genes.
- Ácido ribonucleico (ARN), expresa la información contenida en el ADN.
- Biomoléculas, como enzimas y otras proteínas (producto de los genes) que ponen en funcionamiento la maquinaria celular; carbohidratos, lípidos, etc.

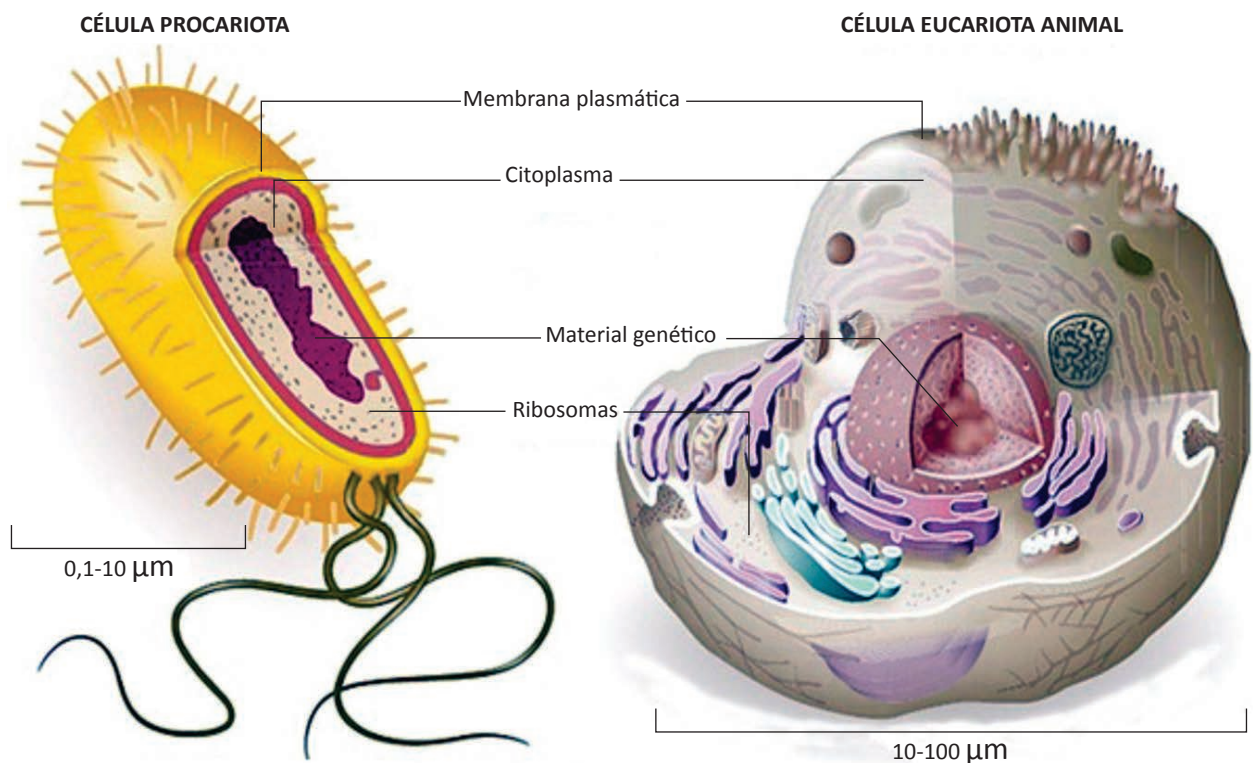


Figura 1.20 Estructuras que comparten una célula procariota y una eucariota animal.

Características funcionales

- Nutrición.
- Autorreplicación o división celular.
- Metabolismo.
- Crecimiento y diferenciación siguiendo un proceso genético.
- Autorregulación (homeostasis).
- Respuesta a estímulos del ambiente.
- Evolución, etc.

Las arqueobacterias y las eubacterias son los organismos más abundantes y diversos. A pesar de su pequeñez y su arquitectura simple, son fábricas bioquímicas notables que convierten moléculas simples en moléculas biológicas complejas, por ejemplo, las bacterias participan en un proceso llamado *fijación de nitrógeno*, convirtiendo el nitrógeno atmosférico en nitrógeno orgánico. Otras bacterias transforman las moléculas orgánicas en inorgánicas, es decir, son desintegradores.

Estructura de la célula bacteriana (eubacterias)

Las bacterias son células pequeñas, miden de 1.1- 1.5 μm de grosor y 2.0 - 6.0 μm de largo. Las formas más comunes son las formas cilíndricas llamadas bacilos, los cuales pueden estar aislados, de dos en dos o formando cadenas. Las formas esféricas son llamados cocos y pueden estar aislados, unidos de dos en dos, formando cadenas, racimos y cubos. Algunas bacterias tienen forma helicoidal, siempre están aisladas, es decir, no se asocian entre ellas. Las que son rígidas se llaman espirilos y las que son flexibles se llaman espiroquetas. Cuando son muy cortos se llaman vibriones.

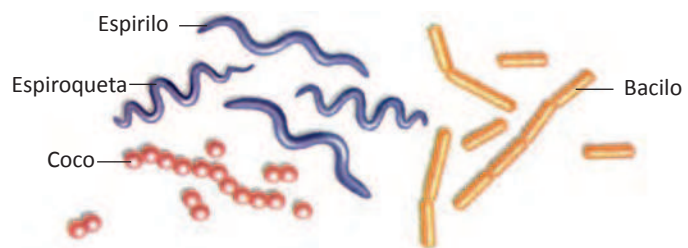


Figura 1.21 Cuatro formas bacterianas.

Las células bacterianas no tienen núcleo; es decir, el ADN no tiene membrana nuclear. Tampoco poseen organelos rodeados de membranas: aparato de Golgi, retículo endoplásmico, mitocondrias, lisosomas, peroxisomas, etc.

Las envolturas celulares incluyen a la pared celular, la membrana plasmática y el glucocálix. La membrana plasmática de una bacteria tiene la misma composición que la de una célula eucariótica. A la membrana plasmática se encuentran adheridas las enzimas necesarias para la respiración celular y la fotosíntesis, en el caso de bacterias fotosintetizadoras.

La **membrana plasmática** tiene la importante función de regular la entrada y salida de sustancias dentro y fuera del citoplasma ya que tiene una composición normal que necesita mantenerse constante. La membrana plasmática puede tener pronunciaciones internas llamadas **mesosomas**.

La **pared celular** mantiene la estructura de la célula. Las paredes celulares bacterianas contienen **peptidoglucano** una molécula compleja. Algunas bacterias después de ser coloreadas para su identificación, se observan al microscopio de color violeta y se les llama Gram positivas, en cambio las que se observan de color rosa son las Gram negativas, esto es debido a su constitución química. Las bacterias Gram positivas poseen mayor cantidad de peptidoglucano en su pared celular que las Gram negativas.

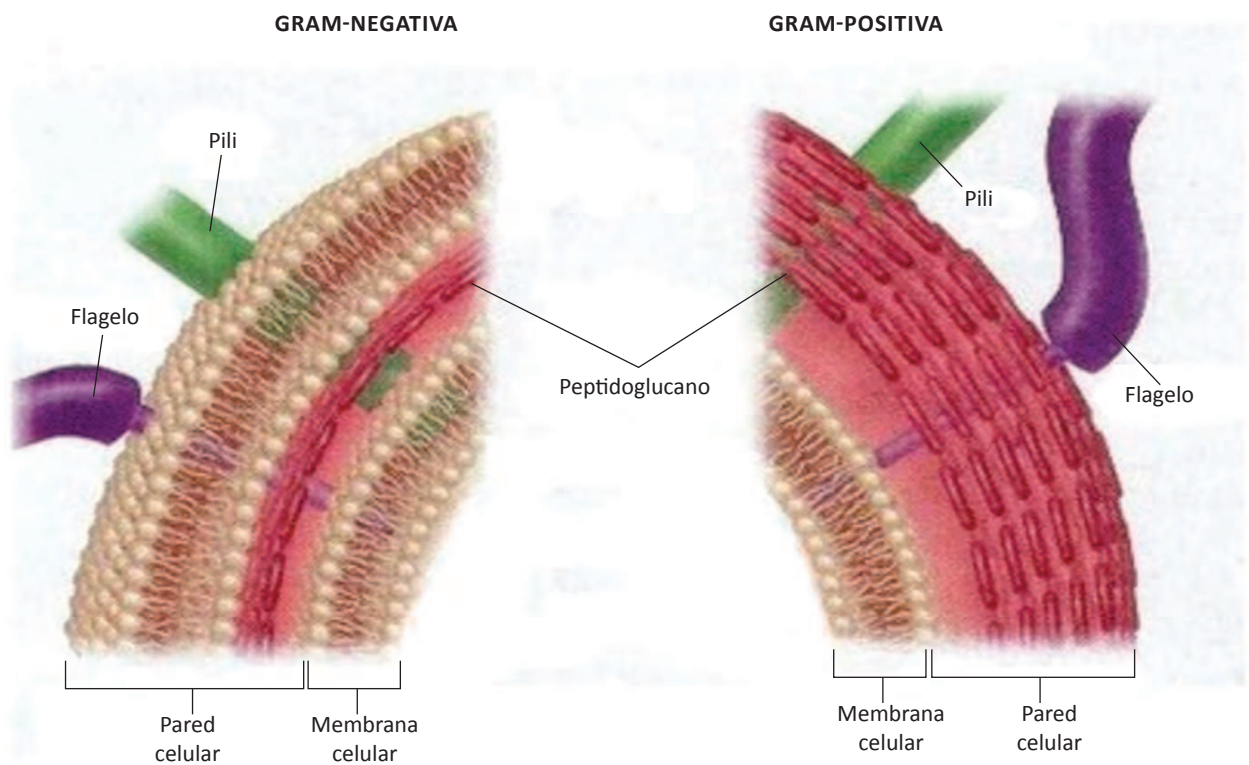


Figura 1.22 Esquema donde se comparan las paredes celulares de las eubacterias Gram negativa y Gram positiva.

El **glucocáliz** es una cubierta de polisacáridos o polipéptidos o los dos tipos de moléculas, localizado por fuera de la pared celular. Cuando está firmemente adherido a la pared celular se llama **cápsula**. La cápsula impide que la bacteria sea fagocitada. Cuando esta difusa recibe el nombre de capa de limo.

El **citoplasma procariótico** no tiene citoesqueleto, por lo que es una solución semifluida constituida de agua, moléculas inorgánicas y orgánicas. El citoplasma está delimitado por la membrana plasmática. Dentro de las moléculas orgánicas, se encuentran una gran variedad de enzimas que participan en muchos tipos de reacciones químicas propias del metabolismo. El citoplasma procariótico contiene reservas de glucógeno, lípidos y compuestos fosfatados.

El ADN de una bacteria es un cromosoma que está localizado en una región llamada **nucleoide**. Muchas bacterias además tienen un cromosoma circular extra llamado **plásmido**. El plásmido es el material genético que las bacterias utilizan para la conjugación, produciendo así variabilidad genética. Los plásmidos son utilizados en los laboratorios de biotecnología como vectores para introducir ADN a las bacterias. Por ejemplo, una bacteria puede producir insulina humana in-

Tabla 1.3 Estructuras de las células bacterianas.

Envoltura celular	Pared celular Membrana plasmática Glucocáliz
Citoplasma	Nucleoide Ribosomas Tilacoides
Apéndices	Flagelos Fimbrias Pilis sexuales

troduciéndole ADN humano que contenga esta información (síntesis de insulina) al plásmido bacteriano. Anteriormente, se les administraba insulina porcina a los diabéticos causándoles problemas, porque no era insulina humana. Actualmente se les administra insulina humana, que sintetizan las bacterias que poseen plásmidos. Esta tecnología es importante en la producción de nuevos medicamentos. La gran variedad de proteínas específicas de las bacterias son sintetizadas en los **ribosomas**. Una célula bacteriana contiene cientos de ribosomas que son más pequeños que los ribosomas eucarióticos. Los

ribosomas bacterianos contienen ARN y proteínas en dos subunidades como los de los ribosomas eucarióticos. La localización de los ribosomas es en todo el citoplasma y en la parte interna de la membrana celular.

Los **cuerpos de inclusión** que se encuentran en el citoplasma son gránulos de diversas sustancias. Algunos son nutrientes que pueden ser desdoblados cuando son necesarios.

Las cianobacterias son un tipo de bacterias fotosintéticas, al igual que las plantas. Su citoplasma contiene extensas membranas internas llamadas **tilacoides** donde la clorofila y otros pigmentos absorben energía solar para la producción de carbohidratos. Las cianobacterias liberan oxígeno como producto de la fotosíntesis.

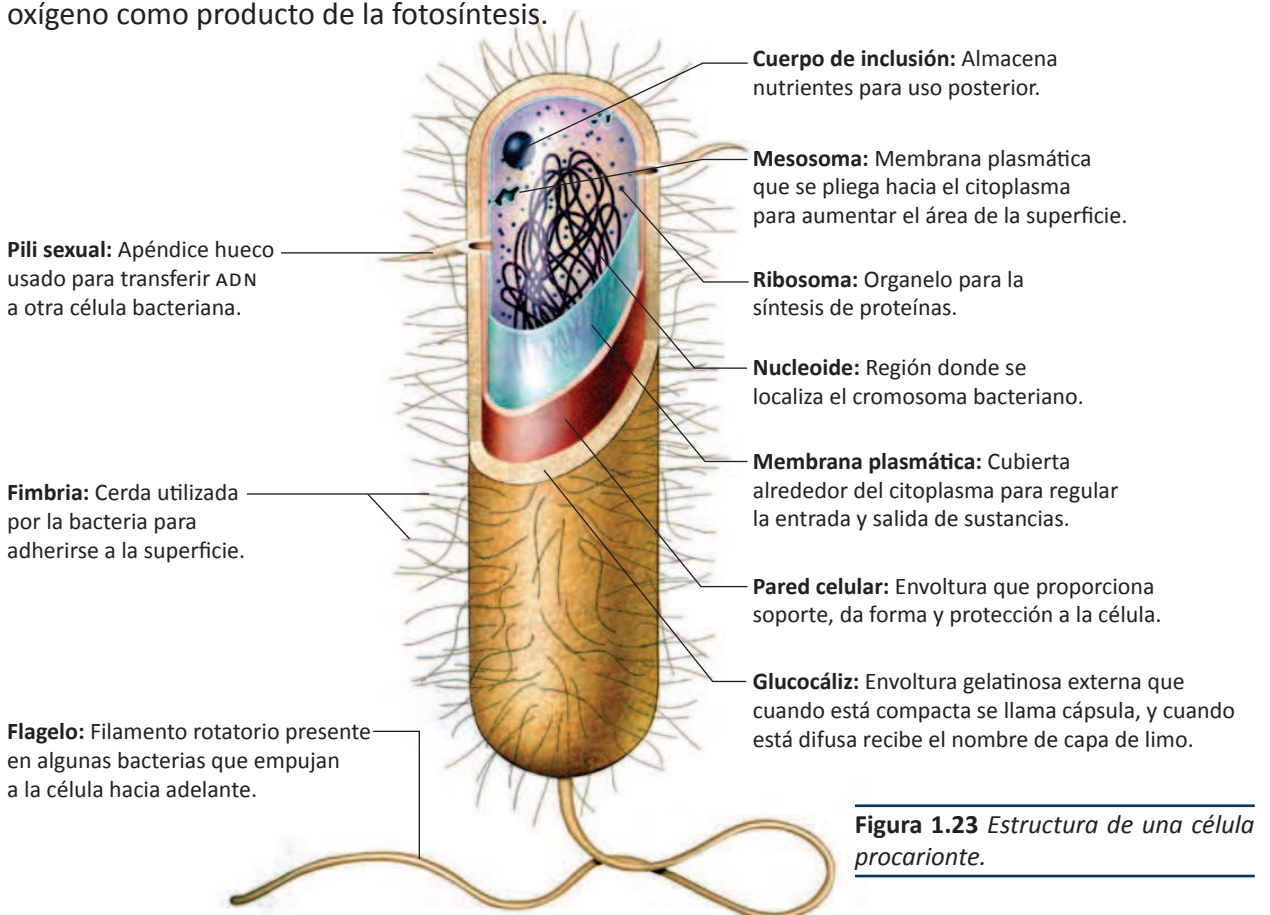


Figura 1.23 Estructura de una célula procariote.

Los apéndices de las bacterias son: flagelos, fimbrias y los pili sexuales, todos están constituidos de proteínas. Algunas bacterias pueden desplazarse debido a los apéndices conocidos como flagelos que miden por lo general 20 nm de diámetro y de 1- 70 nm de largo. Los **flagelos** bacterianos constan de un filamento, un gancho y un cuerpo basal. El número y localización de los flagelos son importantes para distinguir los diferentes tipos de bacterias. Existen bacterias que no poseen flagelos y solo vibran. Otras poseen un flagelo, dos flagelos (uno en cada extremo), un penacho de flagelos en un extremo, un penacho de flagelos en cada extremo o poseen flagelos en toda su superficie. Estos flagelos son más sencillos que los flagelos eucarióticos.

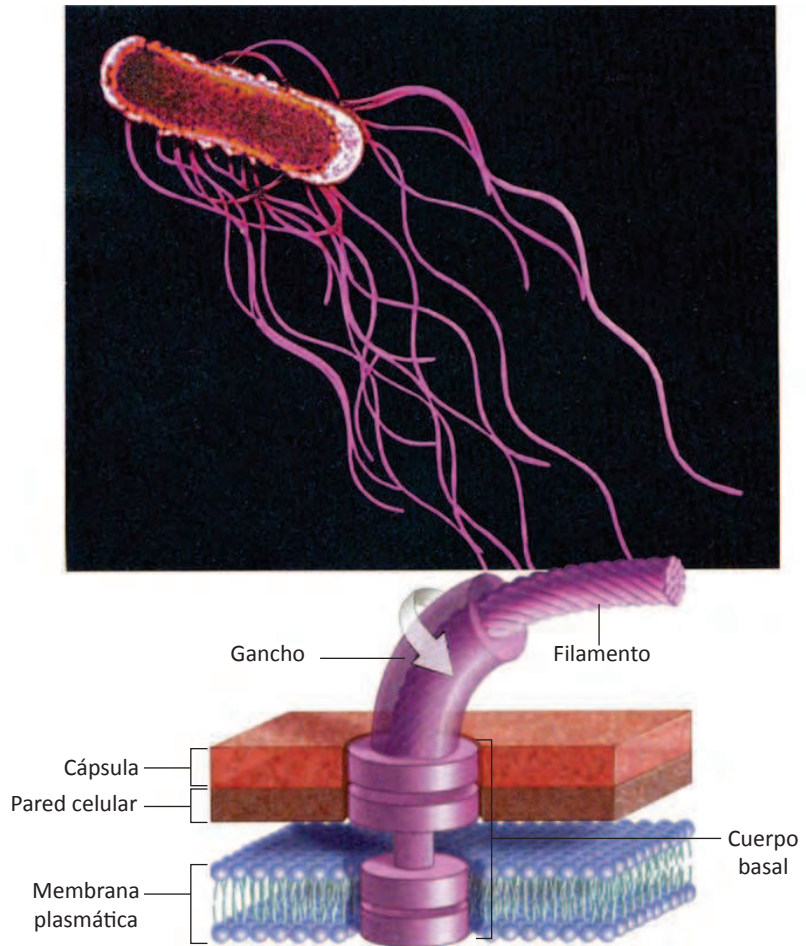


Figura 1.24 Una célula bacteriana flagelada aumentada 13,250 veces y la estructura de un flagelo procariótico formado por un filamento, gancho, y cuerpo basal con el que puede girar 360°.

Las **fimbrias** son apéndices pequeños, de 10 a cientos, en la superficie celular. Participan en la locomoción sino que sirven para que la bacteria se pueda adherir a las superficies. Los **pili sexuales** son estructuras tubulares rígidas usadas por las bacterias para pasar ADN del plásmido a otra célula bacteriana. Todas las bacterias se reproducen asexualmente mediante la fisión procarionte.

Su variabilidad aumenta debido a que pueden intercambiar ADN a través de los pilis sexuales mediante el proceso llamado conjugación. Esta sexualidad bacteriana no está asociada con la reproducción. Cuando algunas bacterias que tienen forma de bacilo se encuentran en condiciones desfavorables, forman estructuras latentes protectoras llamadas **endosporas**.



Figura 1.25 Endosporas bacterianas.

La endospora puede permanecer muchos años en latencia resistiendo las radiaciones, desinfectantes, ácidos, frío, calor, porque tiene una cubierta impenetrable y duradera. Cuando las condiciones ambientales se vuelven favorables, la endospora da origen a una célula bacteriana activa, es decir, no aumenta el número de bacterias, por lo que no es una forma de reproducción.

Estructura de una arqueobacteria

Las **arqueobacterias** son procariontes que tienen mayor diversidad de formas que las eubacterias, porque además de las formas que se ilustran en la figura 1.21, ellas pueden ser lobuladas, en forma de plato o de forma irregular.

Las paredes celulares de las arqueobacterias no contienen peptidoglucano sino que contienen polisacáridos y glucoproteínas. Las membranas plasmáticas poseen lípidos ramificados a los que se les atribuye que las arqueobacterias soporten medios ambientes extremos. La secuencia de bases de ADN y ARN de las arqueobacterias es más parecida a la de las células eucariotas que a la de las eubacterias, por lo que se supone que las arqueobacterias están más relacionadas a las células eucariotas que a las eubacterias.



Figura 1.26 Micrografía de una arqueobacteria.



Figura 1.27 En las aguas de las costas de la Antártida, donde vive el pingüino emperador, también viven las arqueobacterias.

Las arqueobacterias viven en condiciones muy extremas tales como elevadas y muy bajas temperaturas, altas concentraciones de sal, pH muy ácidos, etc. Se han adaptado a una variedad de ambientes inhóspitos, como en las aguas de las costas de la Antártida, en el mar muerto, en pantanos, en respiraderos volcánicos, etc.

En general, las células procariontes nos **ayudan** y nos **perjudican**. Las bacterias son indispensables en los ecosistemas ya que son los desintegradores de las moléculas orgánicas,

es decir, las transforman en moléculas inorgánicas para que continúen los ciclos de la materia y de la energía, pero algunas causan enfermedades serias: peste bubónica por *Yersinia pestis*, faringitis estreptocócica por *Streptococcus*, tuberculosis por *Micobacterium tuberculosis*, ántrax maligno por *Bacillus anthracis*, cólera por *Vibrio cholerae*, intoxicación de alimentos por ciertos tipos de *Escherichia coli* y *Salmonella*.

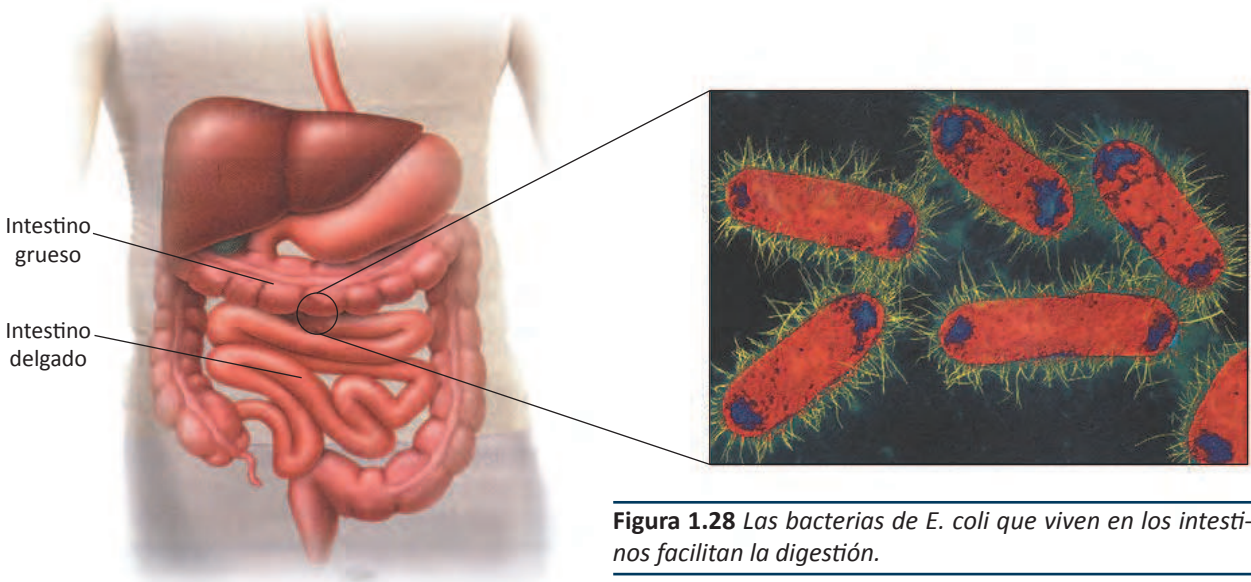


Figura 1.28 Las bacterias de *E. coli* que viven en los intestinos facilitan la digestión.

Los seres humanos somos albergues móviles de bacterias, como lo son en cierta medida las plantas y los animales. Proporcionamos refugio y alimento para un número asombroso de microorganismos, con la mayor concentración en nuestros intestinos. Una bacteria muy común de los intestinos *Escherichia coli* es también el microorganismo experimental favorito. En respuesta a señales provenientes de bacterias como *Escherichia coli*, las células intestinales adquieren formas adecuadas para proporcionar un albergue donde la bacteria pueda vivir, facilitando así una digestión apropiada, debido al esfuerzo combinado de las células bacterianas e intestinales.

A la inversa, la exposición a células intestinales cambia las propiedades de la bacteria, de manera tal que éstas participan más eficazmente en la digestión. Tal comunicación y respuesta es una característica común de las células.

Algunas veces, el normal y pacífico mutualismo de seres humanos y bacterias, es violado por una o por ambas partes. Cuando las bacterias comienzan a crecer en lugares donde se tornan peligrosas, por ejemplo, en la circulación sanguínea o en una herida, las células de nuestro sistema inmune neutralizan o devoran a las bacterias intrusas. Los potentes **antibióticos** que selectivamente envenenan y destruyen a las células procariontes, provocan que disminuya nuestra respuesta

inmune. El conocimiento de la biología molecular de las células bacterianas, nos permite comprender cómo las bacterias son envenenadas por los antibióticos. Por ejemplo, la penicilina inhibe la síntesis de peptidoglucano, molécula constituyente de las paredes celulares bacterianas.

En los organismos multicelulares, la mayoría de las



Figura 1.29 Dentro de los nódulos de esta planta de leguminosa se encuentran otras células que benefician, ya que extraen el nitrógeno del aire, como la bacteria *Rhizobium leguminosarum*.

células están íntimamente involucradas con otras células. Algunos organismos unicelulares viven en aislamiento, otros forman colonias o viven en estrecha asociación con otros tipos de organismos, como es el caso de la bacteria del género *Rhizobium* que ayuda a las plantas a extraer el nitrógeno del aire para utilizarlo como materia prima para la síntesis de sus propios aminoácidos (integrantes de las proteínas).

A pesar de estas y otras numerosas diferencias, todas las células comparten ciertas características estructurales y realizan muchos procesos complicados básicamente de la misma manera.

Teoría endosimbiótica

Las evidencias sugieren que las células eucariotas evolucionaron a partir de sus ancestros procarióticos. Las células eucarióticas tienen aproximadamente 1,000 veces más volumen y su material genético es más organizado.

La **teoría endosimbiótica** o de simbiogénesis o teoría de endosimbiosis seriada, describe la aparición de células eucarióticas como consecuencia de la sucesiva incorporación simbiogénica de diferentes bacterias de vida libre (procariotas).

Esta teoría fue propuesta por la científica norteamericana **Lynn Margulis** en diferentes artículos y libros: *On origin of mitosing cells* (1967), *Origins of Eukaryotic Cells* (1975) y *Symbiosis in Cell Evolution* (1981), llegando a conocer por el acrónimo inglés SET (Serial Endosymbiosis Theory). En la actualidad, se acepta que las eucariotas surgieron como consecuencia de los procesos simbiogénicos descritos por Margulis.

En 1967, Margulis formuló lo que se conoce como “Teoría de la endosimbiosis seriada” que propone que la primera célula eucariótica de la Tierra, se formó mediante la fusión de tres bacterias preexistentes completas, con los genes de cada una incluidos, por supuesto. Una de las bacterias aportó los microtúbulos, otra aportó ciertas capacidades metabólicas, y la tercera, que se sumó más tarde a las otras dos, se convirtió en las actuales mitocondrias. Esa célula eucariota primitiva empezó a reproducirse y una de sus descendientes fagocitó a una bacteria fotosintética de la que provienen los actuales cloroplastos.

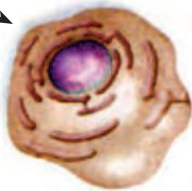
A esta teoría se le llama **endosimbiótica** porque deriva del griego que significa “vivir juntos dentro”. Las bacterias endosimbiontes pudieron haber sido originalmente fagocitadas. Generalmente los procariotas fagocitados son muertos y digeridos; a veces escapan y destruyen a sus captosres, pero también se puede dar el caso de que los dos sobreviven en estado de mutua tolerancia, lo que puede originar una mutua dependencia. De esta forma, las mitocondrias y los cloroplastos bien pudieron seguir la ruta anteriormente descrita es decir, vivir en **simbiosis** para la supervivencia mutua.

El origen del núcleo puede explicarse como el resultado de la internalización de una parte de la membrana externa. En los procariontes, el cromosoma circular está anclado a la membrana plasmática; por lo tanto, el plegamiento interno de una parte de la membrana plasmática podría haber desarrollado un saco intracelular conteniendo al material genético.



Figura 1.30 La microbióloga Lynn Margulis propone la idea de que algunos organelos (como los cloroplastos y las mitocondrias) de células eucarióticas fueron alguna vez procariotas de vida libre.

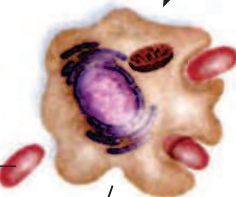
CÉLULA PROCARIOTA ORIGINAL



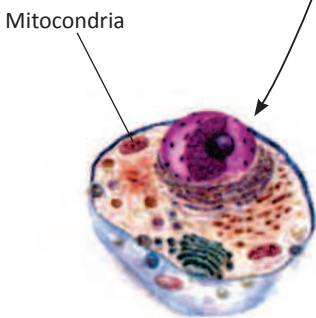
1. Célula que forma un núcleo mediante la invaginación de la membrana plasmática. El ADN queda rodeado de una doble membrana.



2. Célula que forma un sistema de endomembranas.



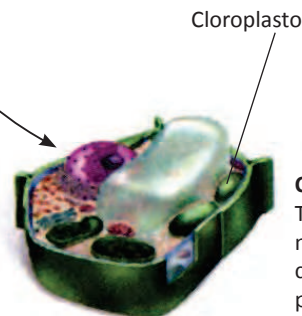
3. Célula que forma mitocondrias.



Célula animal
Tiene mitocondrias, pero no tiene cloroplastos.



4. Célula que forma cloroplastos.



Célula vegetal
Tiene tanto mitocondrias como cloroplastos.

Figura 1.31 Esquema que explica la teoría endosimbiótica.

Células eucariotas

Las células eucariotas suelen ser más complejas y grandes que las procariontes. El término eucariote significa “*núcleo verdadero*”. A diferencia de los procariontes, las células eucariotes contienen un **núcleo** definido rodeado por una doble membrana, donde el material genético se encuentra aislado del resto de la célula y otros compartimientos internos, los **orgánulos** u **organelos** también se encuentran rodeados por membranas extensas. La región de la célula que se extiende entre la membrana plasmática y el núcleo es el **citoplasma** cual confiere la forma y el tamaño celular. El citoplasma está constituido del **citosol** (fase acuosa), **citoesqueleto** y los organelos. El principal componente del citosol es el agua con iones inorgánicos disueltos, aminoácidos, glucosa y macromoléculas como lo son las enzimas, ácidos ribonucleicos (ARN), etc. En el citosol tienen lugar gran parte de los procesos metabólicos de la célula.

El citoplasma está limitado por la membrana plasmática y la membrana nuclear. Existe una gran variedad de células eucariotas. Algunas viven solas como organismos unicelulares, otras forman grandes organismos pluricelulares.

Las células eucarióticas constituyen a todos los miembros de los reinos protista, fungi (hongos), plantas y animales.

Los organelos más conocidos fueron descritos inicialmente mediante el microscopio óptico como gránulos, filamentos, laminillas, etc. Actualmente se ha demostrado con la ayuda del microscopio electrónico, que estos organelos son estructuras huecas que están rodeadas por delgadas membranas. La organización estructural del citoplasma en cavidades separadas tiene importancia en muchos aspectos. Los procesos bioquímicos celulares tienen lugar en las membranas o en las superficies de las membranas por lo que muchas de las enzimas que catalizan las reacciones químicas se localizan allí. Aunque la membrana plasmática y las membranas de los distintos organelos presentan el mismo aspecto estructural, en realidad presentan diferencias bioquímicas y funcionales ya que contienen sus propias moléculas especializadas y sistemas enzimáticos característicos. La existencia en el citoplasma de organelos limitados por membranas permite además, mantener separadas las enzimas de los sustratos, por lo que la célula puede



Figura 1.32 Las plantas, los protistas, los hongos y los animales están integrados por células eucariotas.

ejercer control sobre los procesos metabólicos y mantener notables diferencias de concentración en el citoplasma. También existe un importante transporte de moléculas específicas entre los organelos, proporcionado por el citoesqueleto.

Célula animal, vegetal, fungal y protista

Célula animal

La estructura más externa de la célula animal es la **membrana plasmática**.

El **citoesqueleto** mantiene la forma celular e interviene en el movimiento de las partes de la célula. El citoesqueleto está constituido de microtúbulos, de filamentos intermedios y de filamentos de actina. Los microtúbulos son cilindros de moléculas de proteína presentes en el citoplasma, en los centríolos, cilios y flagelos. Los filamentos intermedios son fibras de proteína que proporcionan soporte. Los filamentos de actina son fibras de proteína que juegan un rol muy importante en el movimiento de la célula y organelos.

- Los **centríolos** son cilindros cortos de microtúbulos.
- El **centrosoma** está formado de microtúbulos organizados que contienen un par de centríolos.
- Los **lisosomas** son vesículas que contienen enzimas para digerir macromoléculas y partes celulares.

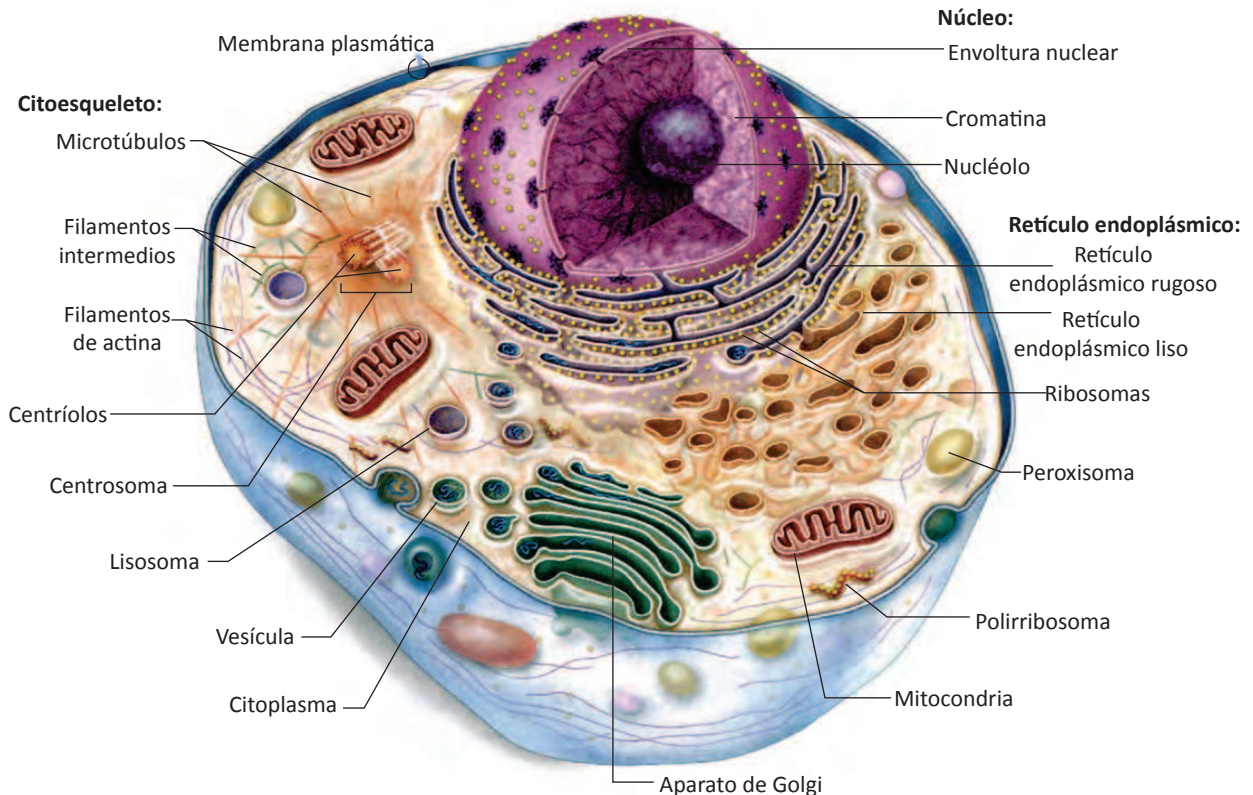


Figura 1.33 Estructura de la célula animal. Ésta célula no posee pared celular, cloroplastos, ni vacuola central.

- Las **vesículas** son sacos membranosos que transportan sustancias.
- El **citoplasma** es la matriz semifluida que contiene los organelos (sin el núcleo).
- El **aparato de Golgi**, sintetiza, empaqueta y secreta productos celulares.
- Las **mitocondrias** son organelos que realizan la respiración celular, produciendo moléculas de ATP.
- Los **polirribosomas** son cadenas de ribosomas que simultáneamente sintetizan la misma proteína.
- Los **peroxisomas** son vesículas que contienen enzimas para convertir el peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno.
- Los **ribosomas** son partículas que realizan la síntesis de proteínas.
- El **retículo endoplásmico (RE)** puede ser de dos tipos: rugoso (RER) es el que tiene adheridos ribosomas y el liso (REL) no tiene ribosomas, sintetiza moléculas de lípidos.
- El **núcleo** posee membrana nuclear doble con poros, cromatina que está formada de ADN y proteínas. Los **nucléolos** son los productores de las subunidades de los ribosomas.

Célula vegetal

La **célula vegetal** a diferencia de la célula animal, se caracteriza por poseer una **vacuola central**, **pared celular** y **cloroplastos**, pero carece de centriolos y lisosomas.

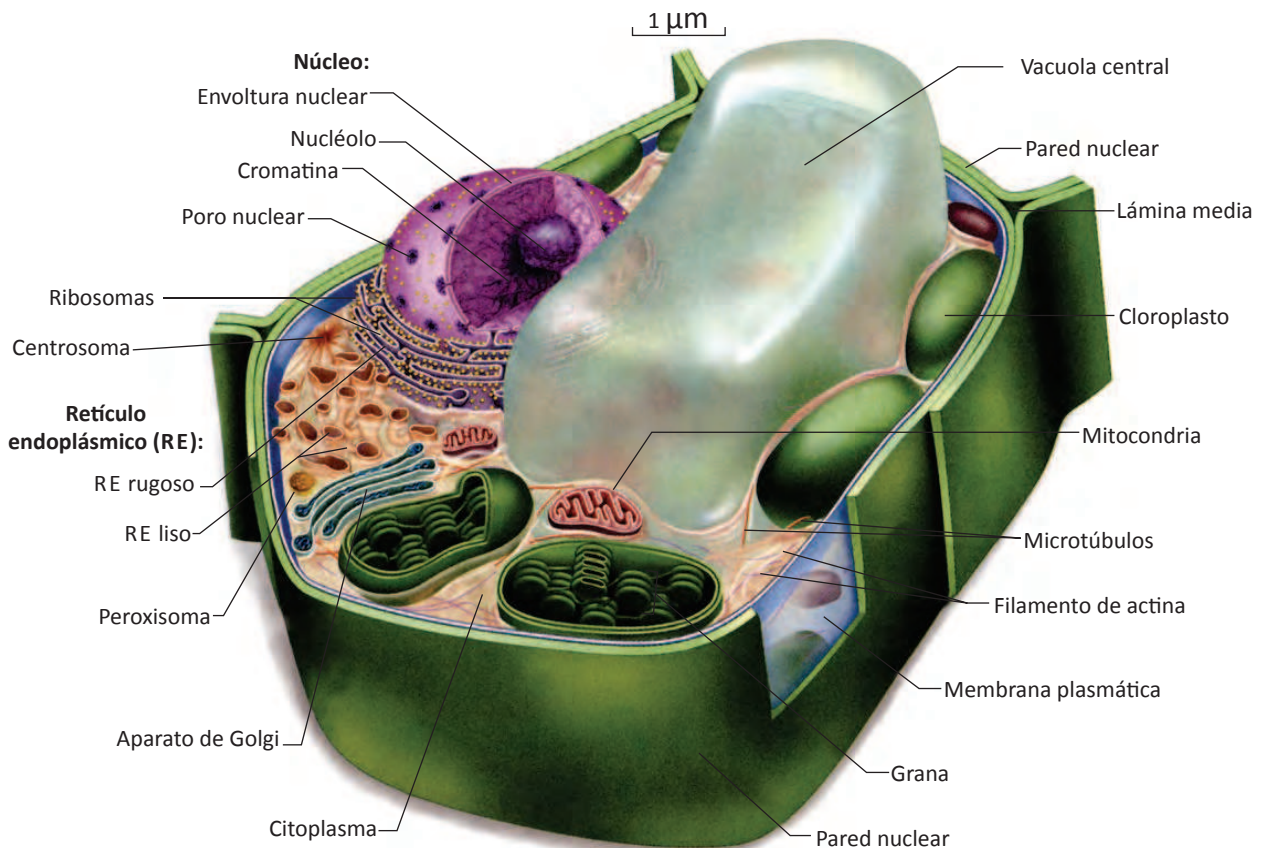


Figura 1.34 Estructura de la célula vegetal. Observa que esta célula no posee centriolos ni lisosomas.

Célula fungal

Las células de los hongos tienen una **pared celular** responsable de la rigidez del organismo. Estas paredes contienen **quitina**, polímero de N-acetil-glucosamina. En el citoplasma se distinguen microfibrillas formadas por polisacáridos que se retuercen de manera parecida a una cuerda que va formando una especie de retículo. Este **retículo** se encuentra en una matriz que contiene polisacáridos de longitud mayor y más complejos que las microfibrillas, quitina, celulosa, proteínas, lípidos e iones. La **membrana celular** tiene ergosteroles. Algunos medicamentos antifúngicos actúan contra la síntesis de ergosterol.

Los **microcuerpos** son estructuras que contienen diferentes enzimas. Los **cuerpos de Woronin** se cree que funcionan como tapón que regula el paso de material citoplásmico. Los **quitosomas** son estructuras esféricas que transportan una enzima que sintetiza quitina. Los **lomasomas** están relacionados con la síntesis de pared celular o excreción.



Figura 1.35 Micrografía de una célula fungal.

Célula protista

Debido a que existe una gran biodiversidad de protistas: vegetaloides (algas), animaloides (protozoarios) y micoides, la estructura de ellos es muy variada.

Sus **paredes celulares** contienen dióxido de silicio, carbonato de calcio, celulosa, algaína, etc. Algunos solo poseen membrana plasmática, sin pared.

Los protistas vegetaloides poseen **cloroplastos** que contienen clorofila para captar la energía solar necesaria para realizar la fotosíntesis. Algunos poseen una **mancha ocular fotosensible** para orientarse, como en el caso de las Euglenas.

Sus medios de locomoción pueden ser los **flagelos, cilios, pseudópodos** o una cubierta externa flexible llamada **película** para desplazarse en el agua.

Poseen **vacuola alimenticia**, en la que se digiere el alimento y **vacuola contráctil** para liberar el exceso del agua.

Algunos poseen **micronúcleo** para realizar la reproducción sexual y **macronúcleo** para el metabolismo y crecimiento. Otros forman una masa multinucleada de citoplasma llamada **plasmodio**.

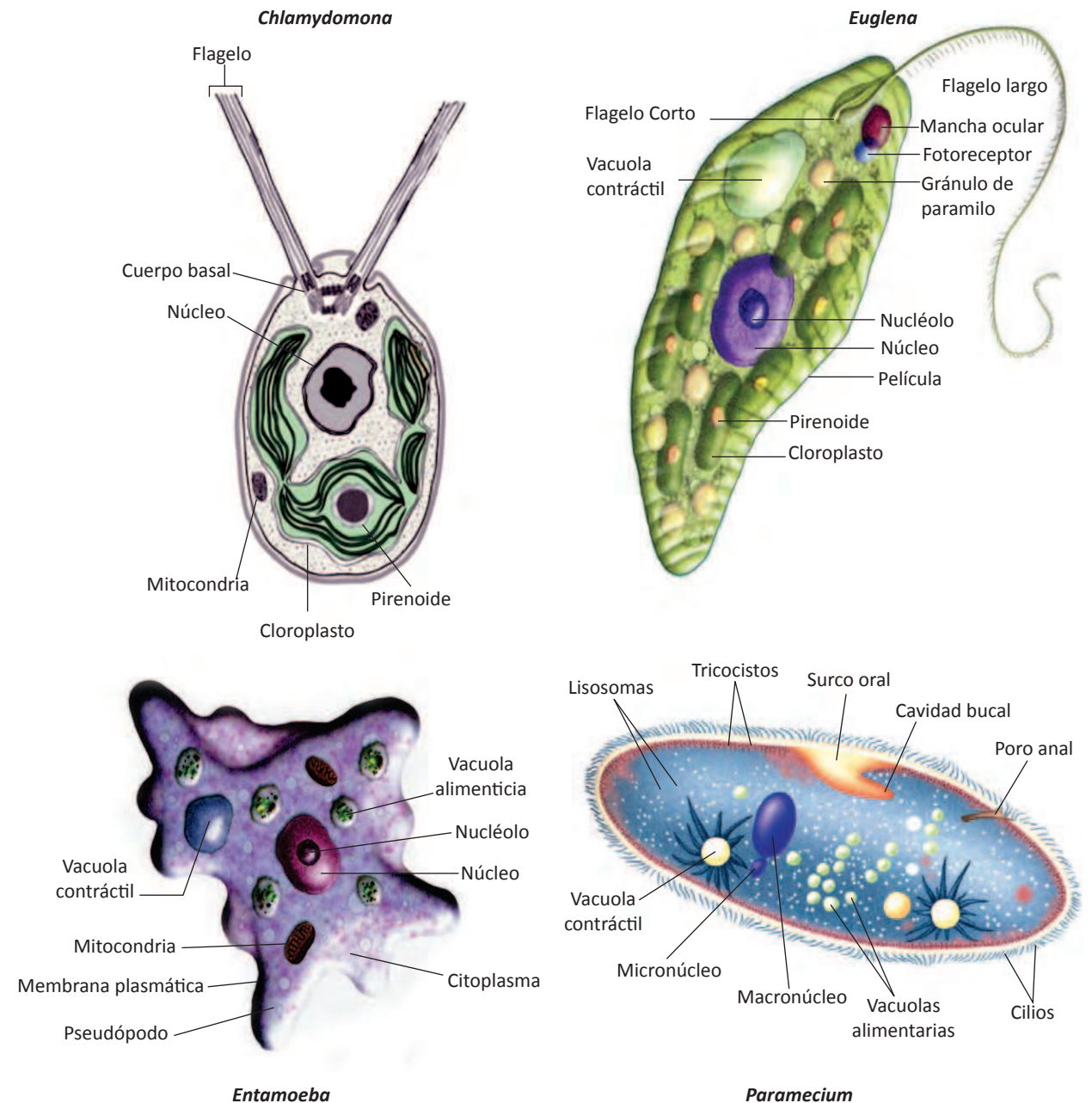


Figura 1.36 Estructura de los protistas: vegetaloides (*Chlamydomona* y *Euglena*), y animaloides (*Entamoeba* y *Paramecium*).

AUTOEVALUACIÓN

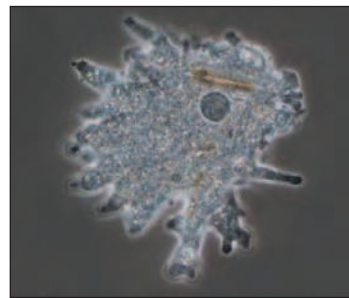
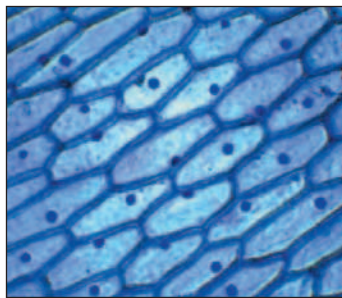
Repaso de la unidad

Contesta lo que se te pide

1. Explica qué importancia tiene la biología celular.

2. Explica por qué la célula se considera la unidad básica de la vida.

3. Escribe el nombre que corresponde a cada tipo de célula: eucariota vegetal, procariota, eucariota animal, eucariota protista, eucariota fungal.



4. ¿Por qué los virus no son considerados seres vivos?

5. ¿Qué observó Robert Hooke y en qué libro lo dibujó?

6. ¿Cuáles fueron las aportaciones de Leeuwenhoek y qué motivo demoró el desarrollo de los microscopios?

7. ¿Qué importancia tiene el poder de resolución de un microscopio?

8. ¿Para qué tipo de observaciones se utiliza el microscopio electrónico de transmisión (MET)?

9. ¿Por qué es tan importante la teoría celular?

10. ¿Cuáles son algunas de las características estructurales que son comunes tanto para células procariontas como para las eucariotas?

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f)

1. El micrómetro es la milésima parte de un milímetro. ()
2. El nanómetro es la milésima parte de un micrómetro. ()
3. El ARN es el material hereditario de los genes. ()
4. Las amebas y los glóbulos rojos pueden variar su forma a medida que se desplazan. ()
5. Los ribosomas son exclusivos de las células eucariotas. ()
6. Las secuencias de ARN y de ADN de las arqueobacterias son más parecidas a la de las células eucarióticas que a la de las eubacterias. ()
7. Las endosporas son una forma de reproducción bacteriana. ()
8. La estructura más externa de la célula animal es la pared celular. ()
9. Algunas células eucariotas poseen tanto micronúcleo como macronúcleo. ()
10. El citoesqueleto mantiene la forma celular eucariótica. ()

Selecciona la mejor respuesta para cada pregunta

1. ¿Cuál es la característica que distingue a una célula procarionta de una célula eucariota?
 - a. Las células procariontas tienen pared celular, pero las células eucariotas no
 - b. Las células procariontas son más grandes que las células eucariotas
 - c. Las células procariontas tienen flagelos mientras que las células eucariotas no
 - d. Las células procariontas no tienen membrana rodeando al núcleo, mientras que las células eucariotas tienen núcleo
 - e. Las células procariontas tienen ribosomas mientras que las células eucariotas no tienen ribosomas.
2. Las vesículas del retículo endoplásmico (RE), casi siempre viajan hacia:
 - a. Los lisosomas
 - b. El aparato de Golgi
 - c. El retículo endoplásmico rugoso (RER)
 - d. A la vacuola de la célula vegetal solamente
 - e. Hacia la ubicación que se ajuste hacia su tamaño

7. ¿Cuáles estructuras son encontradas en una célula procariota?
- Pared celular, ribosomas, plásmido, cromosoma
 - Pared celular, membrana plasmática, núcleo, flagelos
 - Nucleoide, ribosomas, cloroplastos, cápsula
 - Plásmidos, ribosomas, enzimas, ADN, mitocondria
 - Clorofila, enzimas, aparato de Golgi, plásmido
8. Los peroxisomas son vesículas que contienen enzimas para convertir:
- El agua en hidrógeno y oxígeno
 - El peróxido de hidrógeno en agua y oxígeno
 - El hidrógeno y el oxígeno en agua
 - El agua y el oxígeno en peróxido de hidrógeno
 - Ninguna es correcta
9. Células cuya pared celular está constituida por quitina:
- Animal
 - Vegetal
 - Fungal
 - Procariota
 - Bacteriana
10. La máxima amplificación de los mejores microscopios ópticos es de:
- 1000 veces
 - 300 veces
 - 400 veces
 - 100 veces
 - 100,000 veces
1. **Investiga las diferencias al observar células con la variedad de microscopios con sistemas ópticos especiales: microscopio de campo brillante, microscopio de campo oscuro, microscopio de contraste de fase, microscopio de contraste de interferencia diferencial de Nomarski, microscopio de fluorescencia, microscopio confocal, etc.**

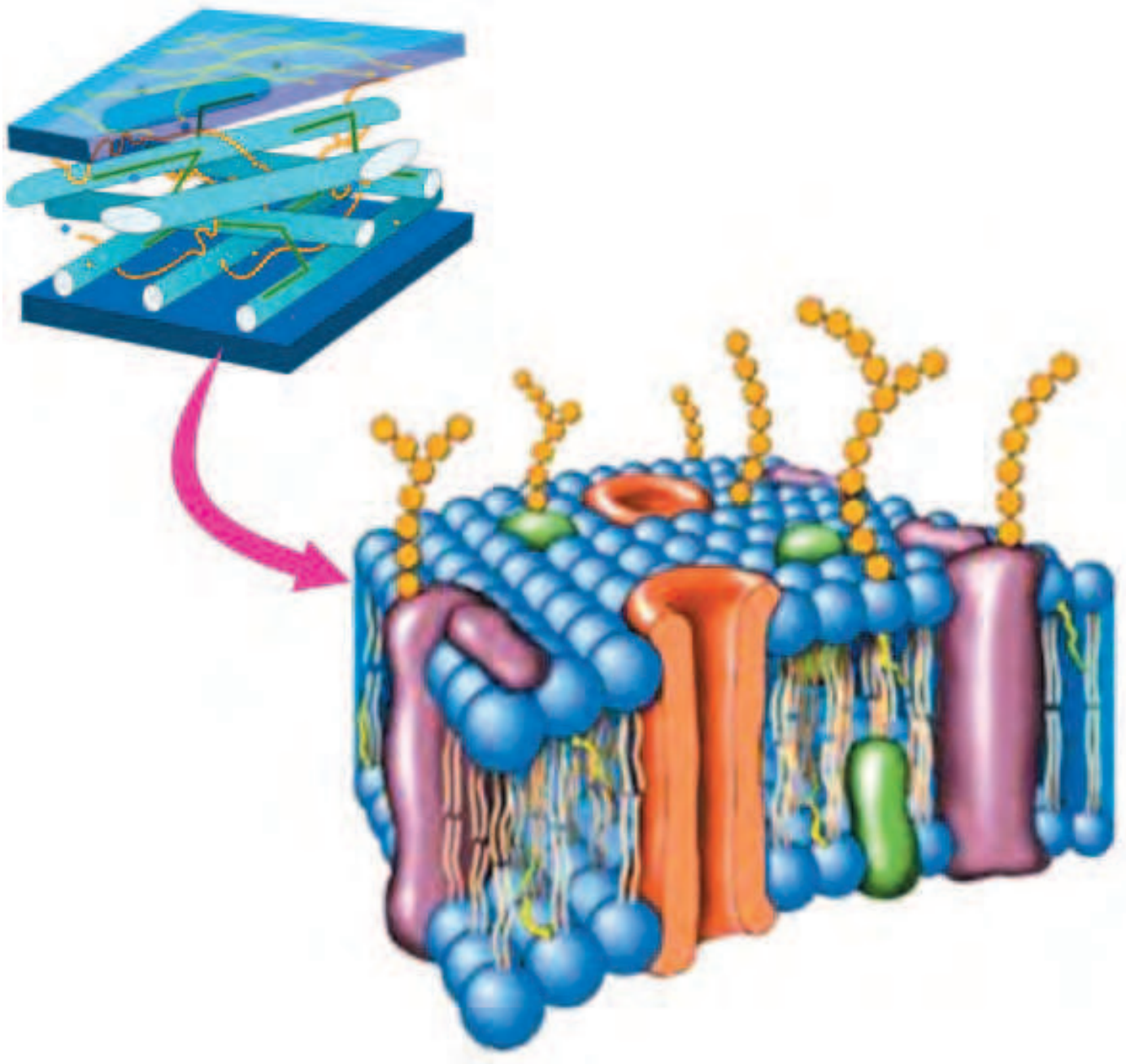
En la siguiente sopa de letras, localiza lo que se te pide:

1. Unidad fundamental de la vida.
2. Pieza del microscopio que sirve para colocar en posición óptica a cada uno de los objetivos.
3. Afirmó que todas las plantas están constituidas por células.
4. Células que no poseen membrana nuclear.
5. Es un cubierta de polisacáridos localizada por fuera de la pared celular procariota.
6. Región de las células bacterianas donde se localiza su ADN.
7. Es un cromosoma circular que poseen algunas bacterias.

D	E	G	A	S	P	U	P	E	B	E
B	U	Z	E	N	R	E	L	E	S	L
O	G	L	U	C	O	C	A	L	I	Z
S	I	S	N	U	C	I	S	I	S	A
C	E	L	U	L	A	R	M	E	R	I
H	N	I	C	U	R	U	I	T	E	P
L	I	Q	L	G	I	G	D	I	V	E
E	N	T	E	J	O	T	O	Ñ	O	Y
I	B	U	O	K	T	R	A	E	L	I
D	U	R	I	M	A	I	T	A	V	A
E	S	E	D	O	S	Y	A	V	E	S
N	O	R	E	F	I	A	E	T	R	E

UNIDAD 2

LÍMITES CELULARES



Biomembranas o membranas biológicas o membranas celulares

Las membranas constituyen el límite externo de cada célula y de determinados organelos. La **membrana plasmática** es la estructura más externa de las células animales que separa el interior de la célula de su entorno.

Los procariontes, que representan las células más simples y más pequeñas, tienen una sola membrana que los rodea, la membrana plasmática. No contienen subcompartimientos internos limitados por membranas; es decir, organelos.

En cambio, las células eucariontes se encuentran subdivididas, por membranas internas. Estas membranas crean compartimientos cerrados que constituyen los diversos **organelos**. Cada organelo está rodeado por una o más biomembranas. Los principales organelos delimitados por una membrana son el complejo de Golgi, el retículo endoplásmico, lisosomas y peroxisomas. Mientras que los que poseen una membrana doble son el núcleo, las mitocondrias y los cloroplastos (solo presentes en células vegetales).

Todas las membranas biológicas, incluidas la membrana plasmática, la membrana de los organelos y las vesículas intracelulares están compuestas por los mismos materiales (lípidos y proteínas), y comparten además una estructura fundamental común. La estructura básica de las membranas plasmáticas es una **bicapa fosfolipídica**.

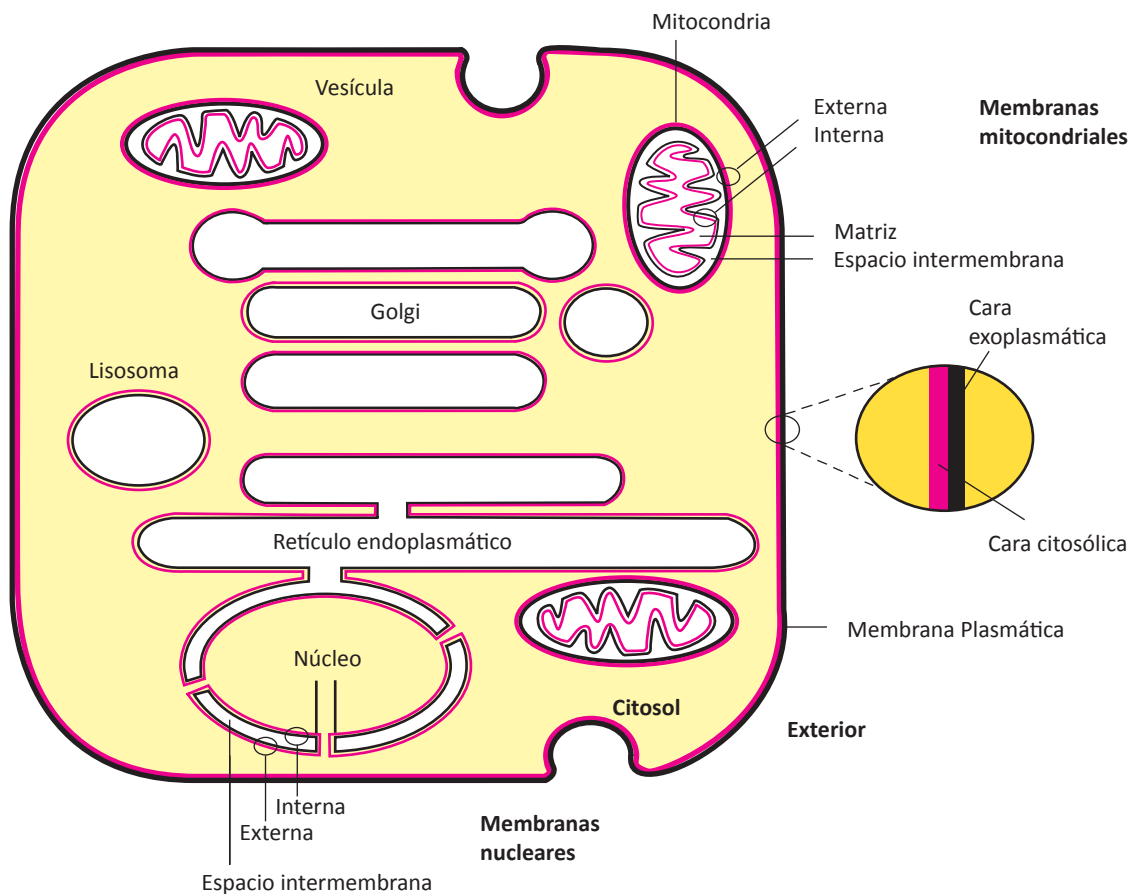


Figura 2.1 Dibujo que representa la cara citosólica (roja) y exoplasmática (negro) de la membrana plasmática y de las membranas de los diversos organelos.

Membrana plasmática

La **membrana plasmática** también llamada **plasmalema**, delimita el territorio de la célula y controla su contenido químico, es decir, la célula está rodeada por una membrana que representa el límite entre el medio extracelular y el intracelular; a través de ella se transmiten mensajes que permiten a las células realizar numerosas funciones.

La membrana plasmática es tan delgada que no se puede percibir con el microscopio óptico. Con el microscopio electrónico se visualiza como una línea de alrededor de 8 nanómetros (nm) compuesta de dos capas densas de unos 2.5 nm de espesor, separadas por una capa más clara de alrededor de 3 nm de ancho.

Las funciones de la membrana plasmática son:

- Regula el paso de sustancias hacia el interior de la célula y viceversa. Permite el paso de ciertas sustancias e impide el paso de otras, actuando como barrera con permeabilidad selectiva.
- Es una estructura continua que rodea a la célula. Por un lado, está en contacto con el citoplasma (medio interno) y por el otro, con el medio extracelular que representa el medio externo.
- Contiene receptores específicos que permiten a la célula interactuar con mensajeros químicos y emitir la respuesta adecuada y, por consiguiente, proporciona el medio apropiado para el funcionamiento de las proteínas de membrana.
- Aísla y protege a la célula del ambiente externo, confiriéndole su individualidad, al separarla del medio externo.

Estructura: modelo del mosaico fluido

El modelo más aceptado de membrana fue propuesto por **Jonathan Singer** y **Garth Nicholson** en 1972 y se denomina “modelo del mosaico fluido”. Este modelo se ha utilizado durante décadas, para describir la membrana plasmática.

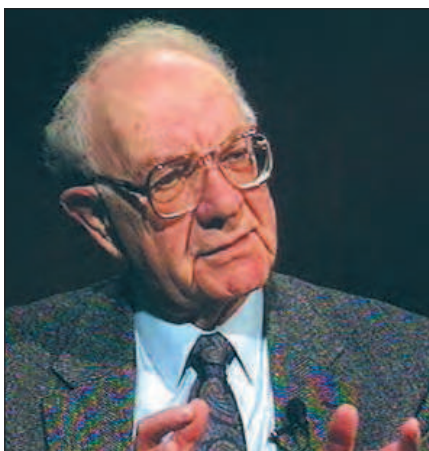


Figura 2.2 Singer y Nicholson propusieron el modelo del mosaico fluido de la membrana plasmática, el más aceptado en la actualidad.

En este modelo la membrana se describe como un fluido debido a que los lípidos pueden difundirse lateralmente en el plano de la membrana. Mientras que las proteínas están dispersas por toda la membrana igual que un mosaico. Muchas de las proteínas de membrana conservan la capacidad de moverse lateralmente y se asemejan a icebergs que flotan en un mar de lípidos.

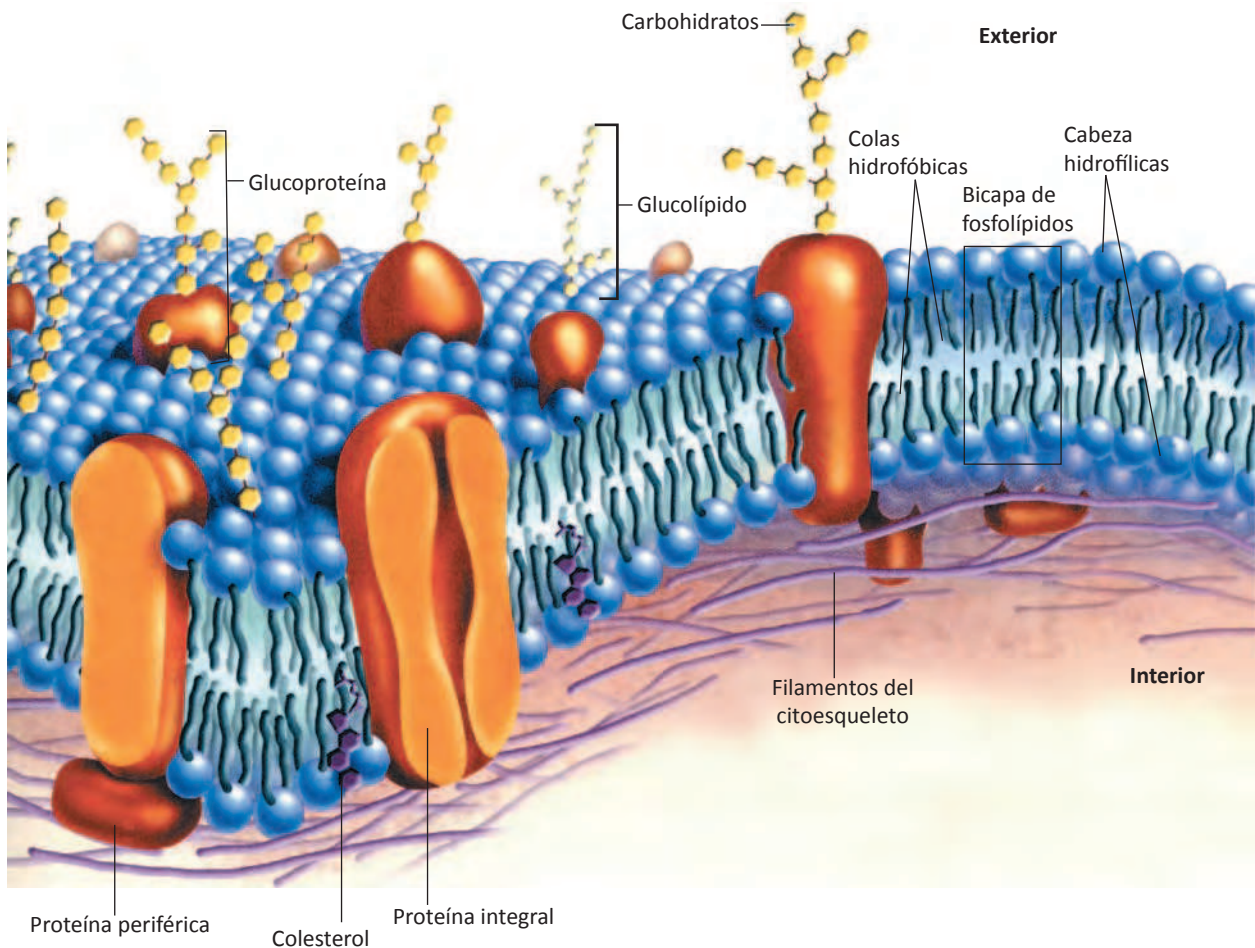


Figura 2.3 Modelo del mosaico fluido de la membrana plasmática.

El modelo de membrana está constituido por las siguientes moléculas: lípidos, proteínas y carbohidratos.

En la membrana plasmática, las proteínas forman un 55 %, los fosfolípidos 25 %, el colesterol 13 %, otros lípidos 4 % y los carbohidratos 3 %.

La distribución de los fosfolípidos proporciona la estructura básica, mientras que las proteínas aportan la funcionalidad.

En la membrana plasmática de la célula eucariota se localizan tres tipos de lípidos: fosfolípidos, glucolípidos y colesterol.

Fosfolípidos

Los **fosfolípidos** son los principales componentes estructurales de la membrana plasmática. Alrededor de la mitad de los lípidos de la membrana celular son fosfolípidos y los más importantes de estos son la fosfatidilcolina (lecitina), fosfatidiletanolamina, fosfatidilserina y esfingomiélin. Estas moléculas son anfipáticas, esto significa que poseen un extremo hidrofílico muy polar (la cabeza) y un extremo hidrofóbico no polar, constituido por dos largas cadenas de ácidos grasos

(la cola). Los extremos no polares, con fobia al agua, (ya que el agua es polar), forman el interior hidrofóbico de la membrana, mientras que los extremos muy polares se orientan hacia la superficie donde hay agua, que también es polar.

Los fosfolípidos se encuentran acomodados en dos capas y se le conoce como **dobla capa fosfolipídica** o **bicapa lipídica** la cual es **fluida**, es decir, tiene características de líquido por lo que se encuentran en constante movimiento, donde intercambian sus lugares con las moléculas vecinas. La viscosidad de la capa depende de las cadenas de los ácidos grasos de las moléculas de fosfolípido. Cuando los ácidos grasos contienen uno o más dobles enlaces (no saturados) ocasiona un pequeño cambio de la dirección de la cola, entonces las moléculas de los fosfolípidos presentan un empaquetamiento menos denso (quedan más separadas) y por consiguiente la capa es más fluida.

La doble capa de fosfolípidos es relativamente impermeable a la mayoría de las moléculas hidrosolubles y representa la estructura básica de la membrana.

La doble capa de fosfolípidos es relativamente impermeable a la mayoría de las moléculas hidrosolubles y representa la estructura básica de la membrana.

La membrana plasmática no es una estructura estática; sus componentes tienen movimiento, lo que le proporciona fluidez. Los movimientos que realizan los fosfolípidos son:

- **Rotación:** son los giros de las moléculas en torno a su eje. Es muy frecuente y ejerce parte en los otros movimientos.
- **Difusión lateral:** dentro de la misma capa las moléculas se difunden hacia los lados. Es el movimiento más frecuente.
- **Flip-flop** (del inglés *flip-flop*, inversión repentina de la dirección): es el movimiento de la molécula lipídica de una capa a la otra con la ayuda de las enzimas llamadas flipasas. Es el movimiento menos frecuente, se produce solo a intervalos de horas, días o semanas.
- **Flexión:** son los movimientos de las colas hidrofobas de los fosfolípidos.

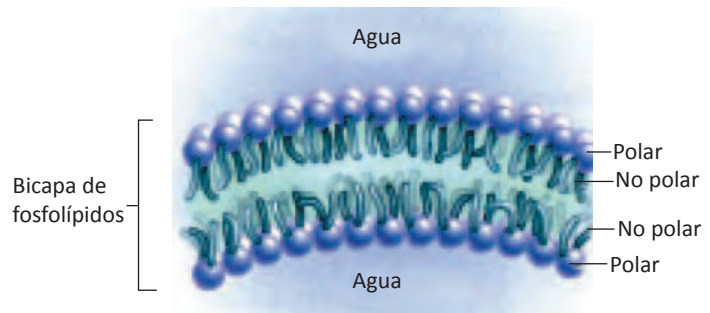


Figura 2.4 La doble cadena de fosfolípidos. Las cadenas hidrofobas no están expuestas al agua mientras que las cabezas hidrofílicas están en contacto con el agua.

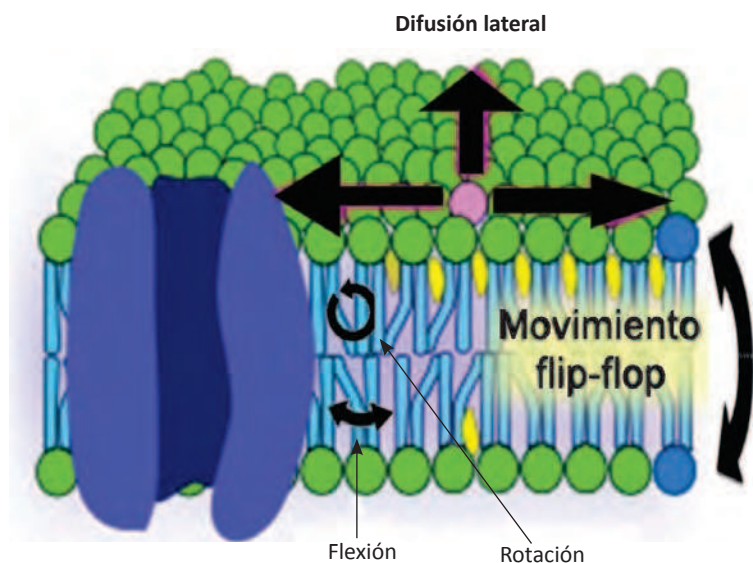


Figura 2.5 Tipos de movimientos de los lípidos. La fluidez es una de las características más importantes de las membranas celulares. La temperatura incrementa la fluidez, mientras que el colesterol endurece las membranas.

Colesterol

El otro tipo de moléculas de lípidos de la membrana plasmática está constituida por **colesterol** que contribuye a que la doble capa lipídica sea menos fluida y permeable. Esto es debido a su rígida estructura cíclica esteroide, que se interpone entre las colas de los fosfolípidos, lo que disminuye la capacidad de movimiento de los ácidos grasos provocando el endurecimiento de las membranas plasmáticas.

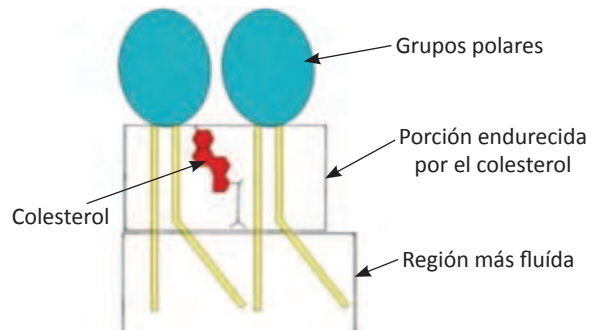


Figura 2.6 La estructura esteroide del colesterol (cuatro anillos de carbono y una cadena hidrocarbonada) se interpone entre las colas hidrófobas de los fosfolípidos.

Proteínas

Mientras los lípidos forman la estructura principal de la membrana, muchas de las funciones biológicas de esta, dependen principalmente de las proteínas. Por ejemplo, algunas proteínas de membrana transportan materiales hacia el interior y el exterior de las células. Otras sirven como receptores, enzimas, etc.

Al igual que en el caso de los lípidos, las moléculas de las proteínas pueden girar alrededor de su eje y muchas de ellas pueden desplazarse lateralmente (difusión lateral) a través de la membrana. Las proteínas de membrana se clasifican en:

Proteínas periféricas

Se localizan a un lado u otro de la bicapa lipídica y están unidas débilmente a las cabezas polares de los lípidos de la membrana o a proteínas integrales por enlaces de hidrógeno. Pueden extraerse de la membrana con facilidad sin alterar la estructura de la bicapa.

Proteínas integrales

Están íntimamente unidas a los lípidos, suelen atravesar la capa lipídica una o varias veces (hasta 24), por esta razón se les llama proteínas transmembranales. Los biólogos celulares solo pueden liberarlas rompiendo la bicapa con detergentes. Algunas de sus funciones son:

- Forman canales que facilitan el paso de iones y moléculas específicas a través de la membrana.
- Actúan como receptores en los procesos de comunicación entre células y poseen actividades enzimáticas.
- Fijan los filamentos del citoesqueleto a la membrana celular.
- Son específicas.
- Reconocen por medio de receptores a antígenos y células extrañas.

Carbohidratos

Estas moléculas se encuentran ubicadas en su mayor parte en la superficie externa de las células eucariotas, por lo que contribuyen a la asimetría de la membrana. Con el microscopio electrónico se observan como una capa blanca por fuera de la membrana plasmática. Por lo general son oligosacáridos que se unen a los lípidos formando **glucolípidos** o al unirse a las proteínas forman **glucoproteínas**. Esta cubierta de glúcidos constituye la cubierta celular o **glucocáliz**, a la que se le atribuyen funciones fundamentales como las siguientes:

- Presenta propiedades inmunitarias, participa en los procesos de coagulación de la sangre y en las reacciones inflamatorias; en los glóbulos rojos representan los antígenos propios de los grupos sanguíneos del sistema ABO.
- Protege la superficie de las células de posibles lesiones.
- Confiere viscosidad a las superficies celulares permitiendo el deslizamiento de células en movimiento, como los glóbulos blancos (leucocitos).
- Interviene en los fenómenos de reconocimiento celular, particularmente importantes durante el desarrollo embrionario y en los procesos de rechazo de injertos y trasplantes.
- En los procesos de adhesión entre óvulos y espermatozoides, éstos distinguen los óvulos de la propia especie de los de especies diferentes.

La mayor parte de los componentes de la membrana plasmática se forma en el retículo endoplásmico. La membrana recién sintetizada se exporta a través de un ciclo de gemación y fusión de la membrana. Del retículo endoplásmico se desprenden pequeñas porciones de membrana que forman pequeñas vesículas que luego se incorporan a la membrana plasmática.

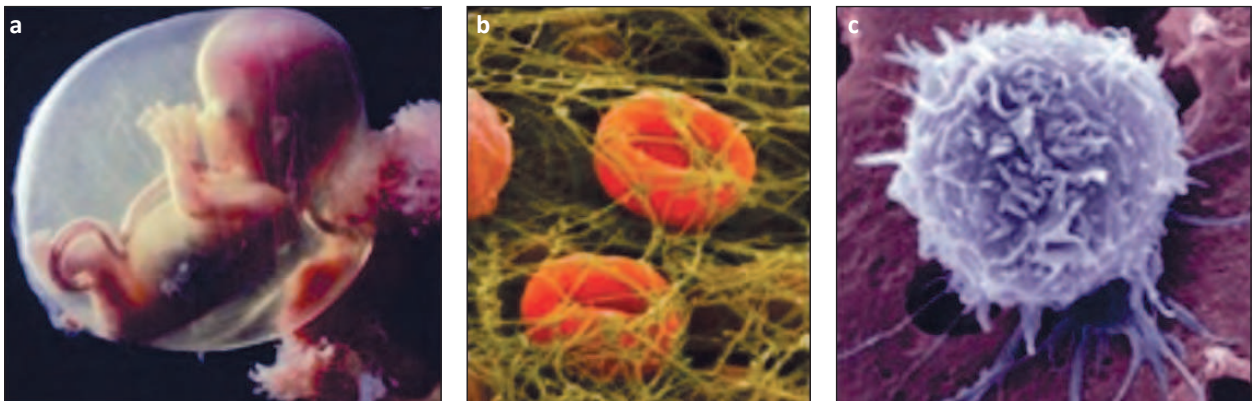


Figura 2.7 El glucocáliz formado por oligosacáridos unidos a las proteínas de las membranas celulares (glucoproteínas) participa en el reconocimiento celular durante el desarrollo embrionario (a), en la coagulación sanguínea (b) y, en el deslizamiento de los glóbulos blancos (c).

Mecanismos de transporte de moléculas

Es el intercambio de materia entre el interior de la célula y su ambiente externo. La bicapa lipídica de la membrana actúa como una barrera que separa dos medios acuosos, el medio donde vive

la célula y el medio interno celular. Las células requieren nutrientes del exterior y deben eliminar sustancias de desecho procedentes del metabolismo y mantener estable su medio interno. La membrana presenta una permeabilidad selectiva, ya que permite el paso de pequeñas moléculas y bloquea el paso de otras.

El transporte a través de la membrana depende del tamaño de las moléculas y se divide en dos grandes grupos: los de moléculas de bajo peso molecular y los de moléculas de elevado peso molecular.

Tabla 2.1 Tipos de transporte a través de las membranas plasmáticas.

Transporte de moléculas de bajo peso molecular	Transporte pasivo	<ul style="list-style-type: none"> Difusión simple Difusión facilitada 	<ul style="list-style-type: none"> - A través de la bicapa - A través de canales
	Transporte activo	<ul style="list-style-type: none"> Bomba de sodio/potasio 	
Transporte de moléculas de elevado peso molecular	Endocitosis	<ul style="list-style-type: none"> Pinocitosis Fagocitosis Mediada por un receptor Potocitosis 	
	Exocitosis		
	Transcitosis		

La función de la membrana plasmática es crítica porque la vida de la célula depende de que su composición normal se mantenga constante. Esta membrana puede realizar sus funciones debido a que es **selectivamente permeable**, de tal manera que algunas sustancias pueden entrar y salir a través de ella y otras no.

En general, sustancias tales como el dióxido de carbono, oxígeno, glicerol, agua y alcohol pueden cruzar libremente la membrana. Son capaces de pasar entre las cabezas hidrofílicas de los fosfolípidos y atravesar las colas hidrofóbicas de la membrana. Se dice que estas moléculas siguen su gradiente de concentración a medida que se mueven. Las moléculas siguen su gradiente de concentración y se mueven de un área donde su concentración es **alta** a un área donde su concentración es **baja**. En la figura 2.8 se ilustra cuáles sustancias pueden atravesar la membrana celular mediante difusión y cuáles requieren ser transportadas por proteínas y / o requieren energía.

Cabe considerar que una célula siempre utiliza oxígeno para realizar su respiración celular. La concentración de oxígeno es siempre más baja dentro de la célula que fuera de ella, por lo que el oxígeno tiene la tendencia de entrar a la célula. El dióxido de carbono es producido cuando las células llevan a cabo la respiración celular, ésta molécula sale de la célula porque sigue su gradiente de concentración ya que en su interior existe mayor concentración de dióxido de carbono que afuera.

Los iones y moléculas polares tales como glucosa y aminoácidos pueden cruzar la membrana pero lentamente. Por lo tanto, utilizan las proteínas de transporte para atravesar la membrana. Estas proteínas de transporte son específicas para las sustancias que van a atravesar la membrana plasmática.

La formación de vesículas es otra manera para que las sustancias puedan salir o entrar a la célula. Este transporte está reservado para macromoléculas e incluso las más grandes como los virus.

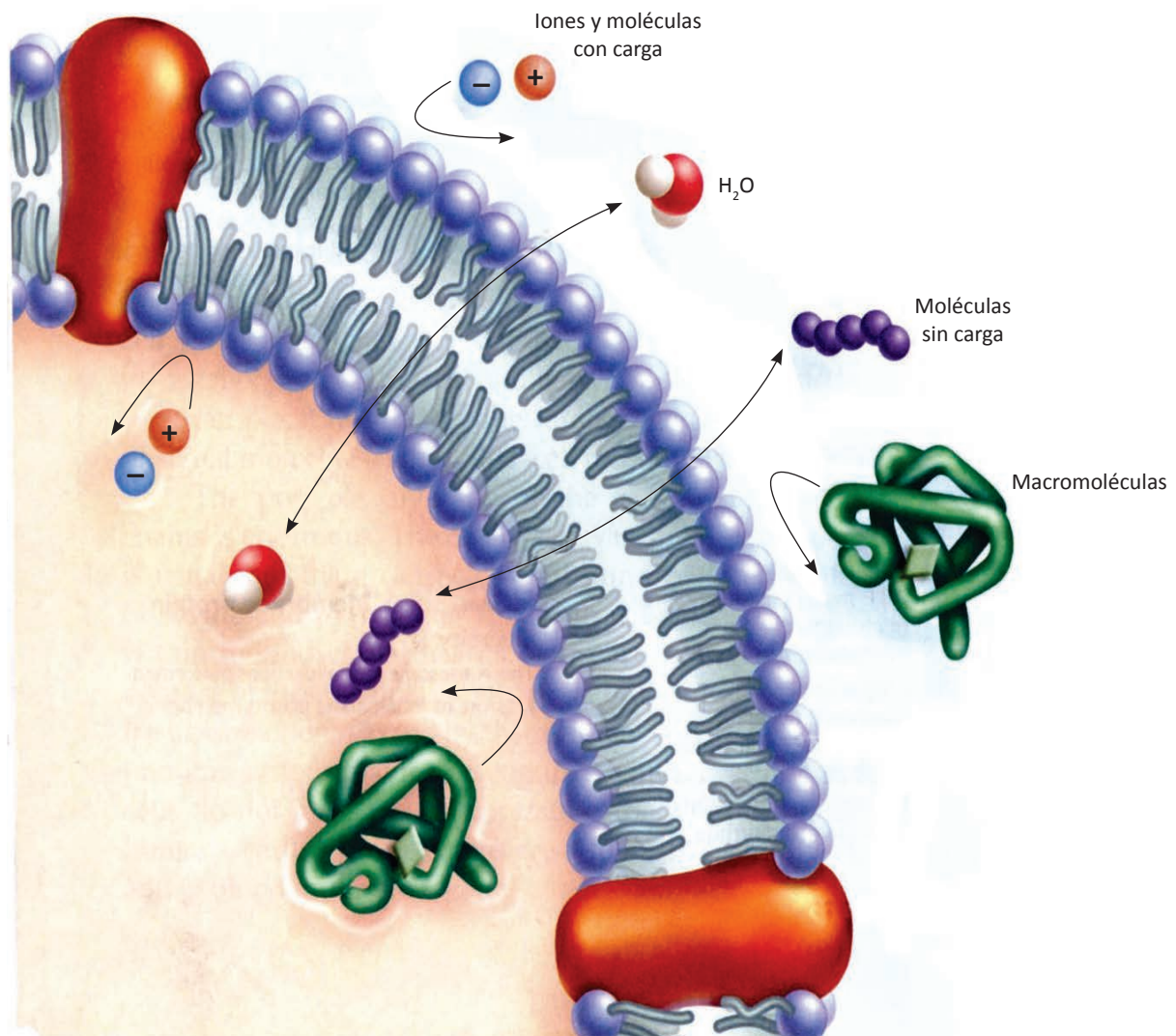


Figura 2.8 La flecha con curva indica a las sustancias que no pueden atravesarla mediante difusión y las flechas de doble sentido indican las sustancias que sí pueden atravesarla mediante difusión.

Transporte de moléculas de bajo peso molecular

El transporte de moléculas de bajo peso molecular se lleva a cabo mediante **transporte pasivo** y **transporte activo**.

Transporte pasivo

Es un proceso de difusión de sustancias a través de la membrana. Se produce siempre a favor del gradiente de concentración; es decir, donde existe mayor concentración hacia el medio donde la concentración es menor. Este transporte puede darse mediante **difusión simple** y **difusión facilitada**.

Difusión simple

Es el paso de pequeñas moléculas a favor del gradiente de concentración; puede realizarse a **través de la bicapa lipídica** o a **través de canales proteicos**.

Difusión simple a través de la bicapa

Este tipo de difusión simple es propio de las hormonas esteroides (moléculas lipídicas), el éter (anestésico) y fármacos liposolubles; también de sustancias apolares como el oxígeno y nitrógeno. Algunas moléculas polares de muy pequeño tamaño como el agua, el dióxido de carbono, el etanol y glicerina, también atraviesan la membrana mediante este tipo de difusión simple.

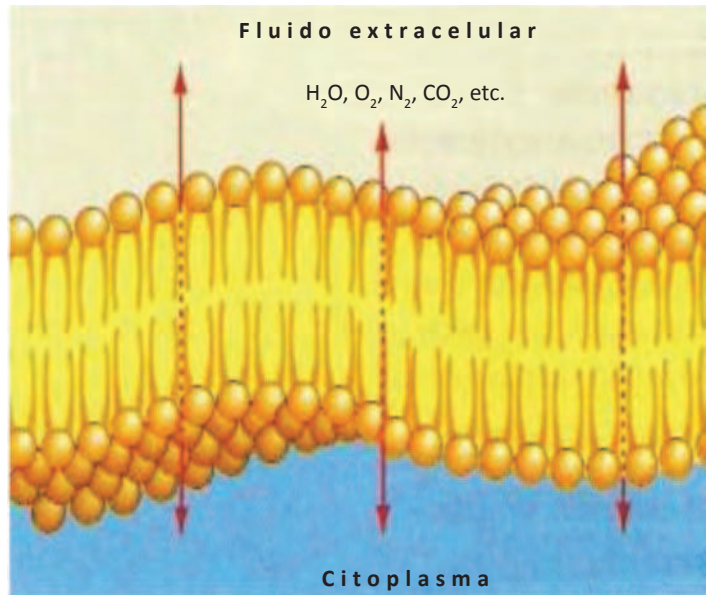
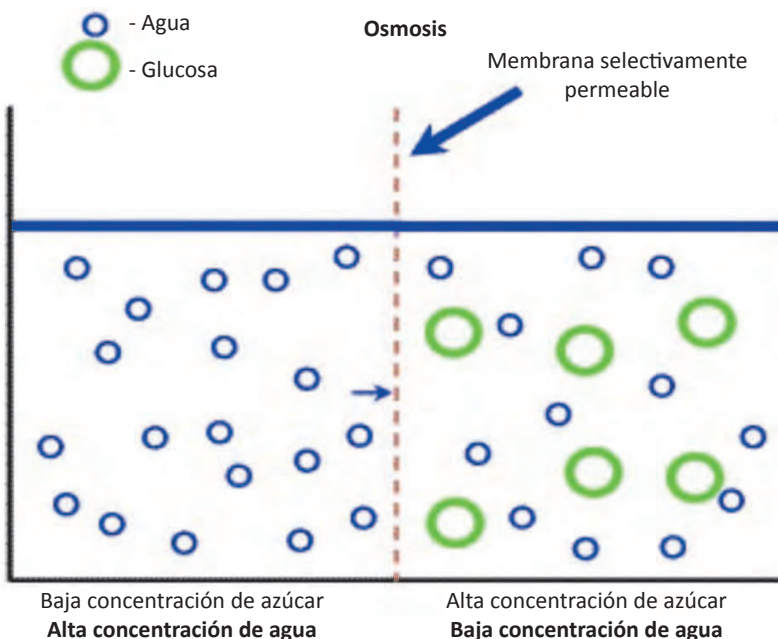


Figura 2.9 Difusión simple a través de la bicapa lipídica.



La **osmosis** es un tipo de difusión donde, el principal solvente en los sistemas biológicos, las moléculas de **agua**, pasan a través de una membrana semipermeable desde una región donde existe una

Figura 2.10 Las moléculas de agua llevan a cabo la osmosis de izquierda a derecha (atravesando la membrana celular selectivamente permeable) debido a que en el compartimiento del lado izquierdo existe mayor concentración de moléculas de agua que en el lado derecho.

mayor concentración de éstas moléculas, a otra de menor concentración. Las moléculas de agua se mueven libremente en ambos sentidos, pero, como en todos los tipos de difusión, el movimiento neto es de la región de mayor concentración de moléculas de agua a la de menor concentración.

Si la solución que rodea a las células posee una concentración mayor de sustancias disueltas (solute) que la correspondiente al interior de la célula, la solución tiene una presión osmótica mayor que ésta y se denomina **hipertónica**. Una célula colocada en esta solución se encoge al perder agua.

La osmosis se efectúa en este caso del interior hacia el exterior de la célula, debido a que en el interior de la célula hay mayor concentración de moléculas de agua que en el exterior.

Cuando las células se encuentran rodeadas de una **solución isotónica**, la osmosis se lleva a cabo a la misma velocidad tanto de adentro hacia afuera, como de afuera hacia el interior de la célula.

Si la solución que rodea a las células contiene una concentración menor de solutos que la que tienen en su interior las células, la solución tiene una presión osmótica menor y se dice que es **hipotónica** con respecto al interior de la célula. Una célula colocada en este tipo de solución, aumenta de tamaño, es decir, presentan turgencia debido a que se realiza la osmosis, pero en este caso es del exterior de las células hacia el interior. En el caso de las células animales, como carecen de pared celular, estallan, es decir se presenta la **citólisis**.

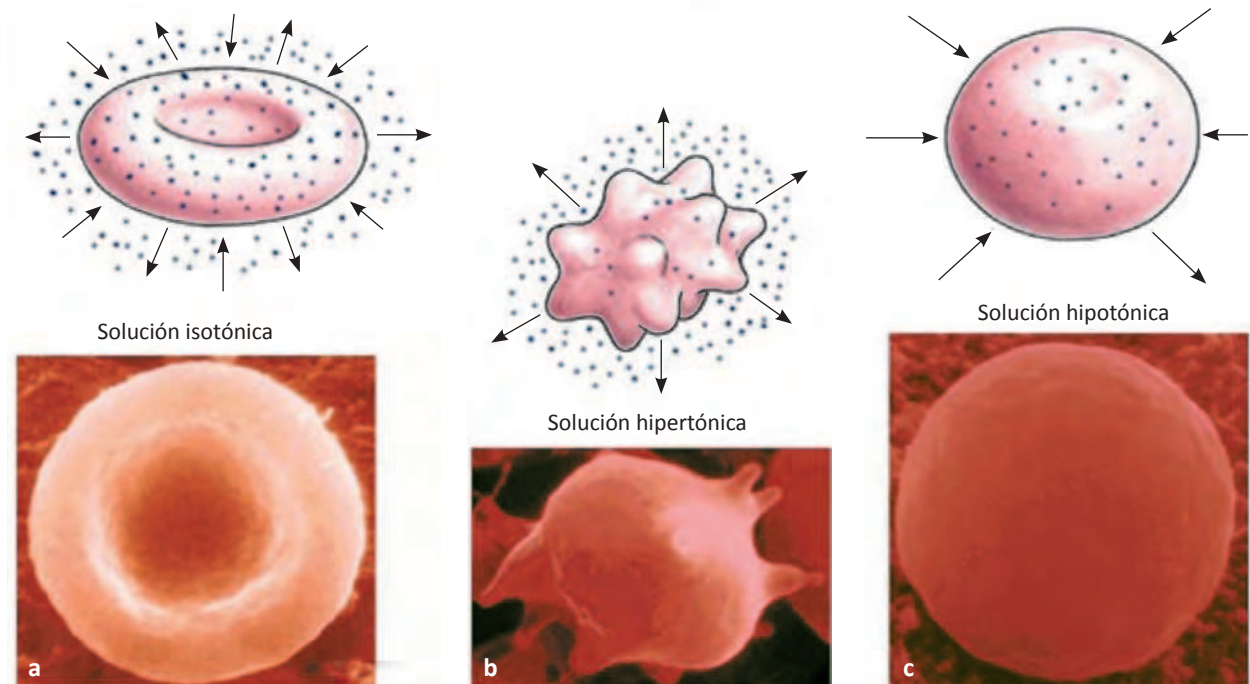


Figura 2.11 La osmosis en eritrocitos: (a) hacia ambos lados, (b) del interior al exterior y (c) del exterior al interior.

El oxígeno que se encuentra en el interior de los alveolos pulmonares, difunde al interior de los capilares sanguíneos, porque existe mayor concentración de oxígeno en el interior del alvéolo que dentro de los capilares sanguíneos (observa la figura 2.12).

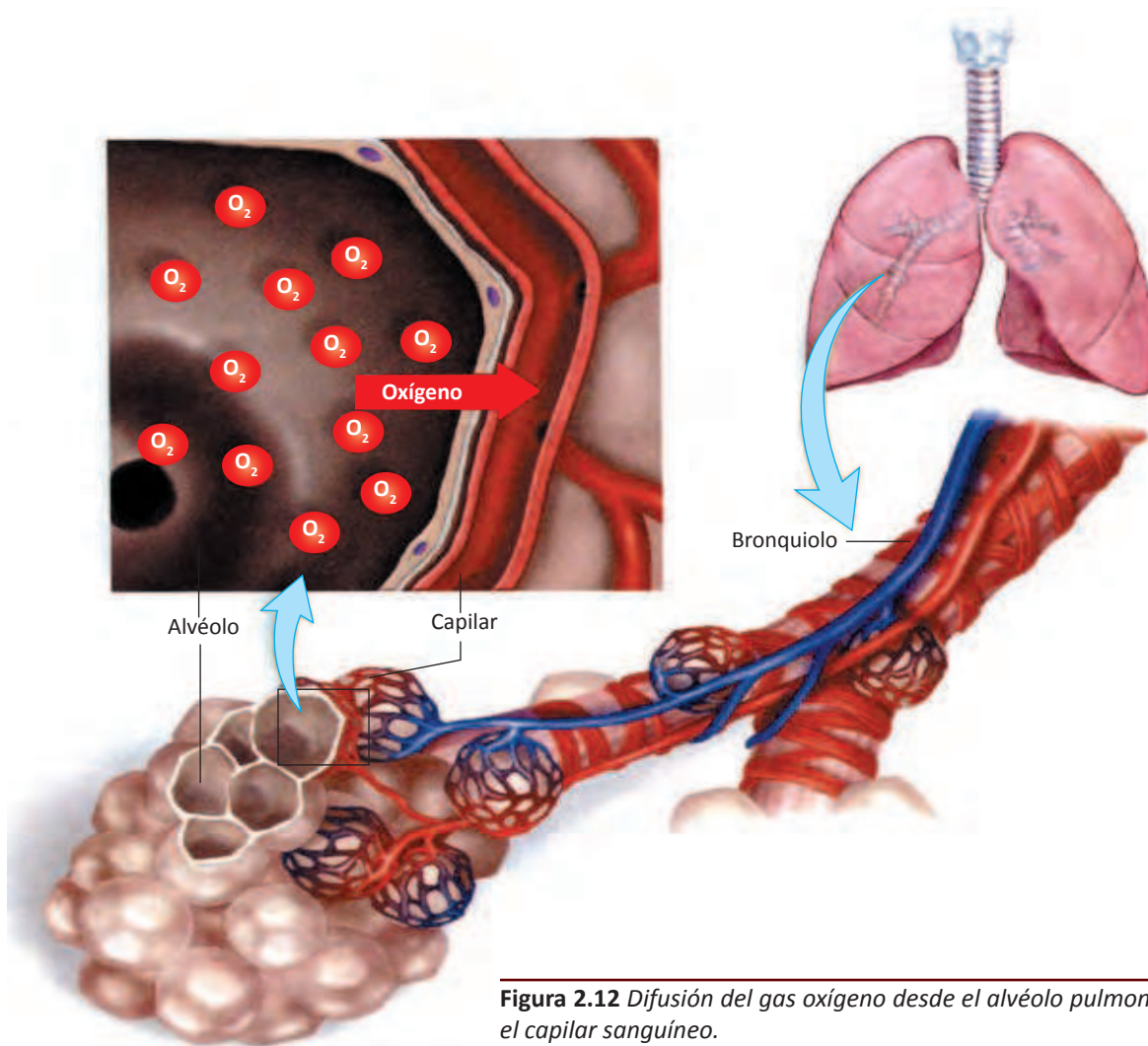


Figura 2.12 Difusión del gas oxígeno desde el alvéolo pulmonar hacia el capilar sanguíneo.

Difusión simple a través de canales

Se lleva a cabo mediante las **proteínas de canal**. Estas proteínas poseen un orificio o canal interno cuya apertura está regulada por ligandos (hormonas o neurotransmisores) que se unen a una determinada región de la proteína de canal para que presente una transformación estructural que provoca la apertura del canal. De esta forma entran los iones sodio (Na^+), potasio (K^+), calcio (Ca^{++}) y cloro (Cl^-).

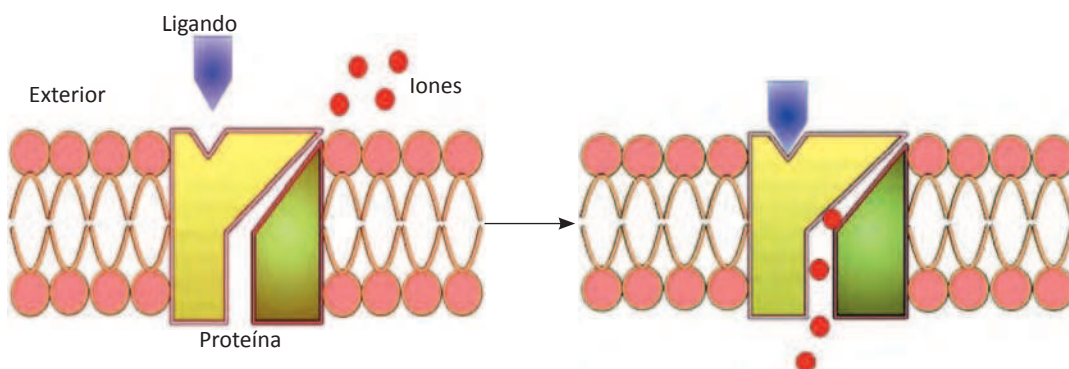


Figura 2.13 Esquema que nos muestra la difusión simple a través de canales. Al unirse el ligando a la proteína, ésta permite el paso de iones.

Difusión facilitada

Permite el transporte de pequeñas moléculas polares: aminoácidos, monosacáridos, etc., que al no poder atravesar la bicapa lipídica, requieren que proteínas transmembranales faciliten su paso. Estas proteínas se denominan **proteínas transportadoras** (carrier) o **permeasas** que al unirse a la molécula por transportar, presentan un cambio en su estructura que arrastra a dicha molécula hacia el interior de la célula. La proteína transportadora acelera la velocidad a la cual el soluto atraviesa la membrana plasmática hacia un área de concentración menor.

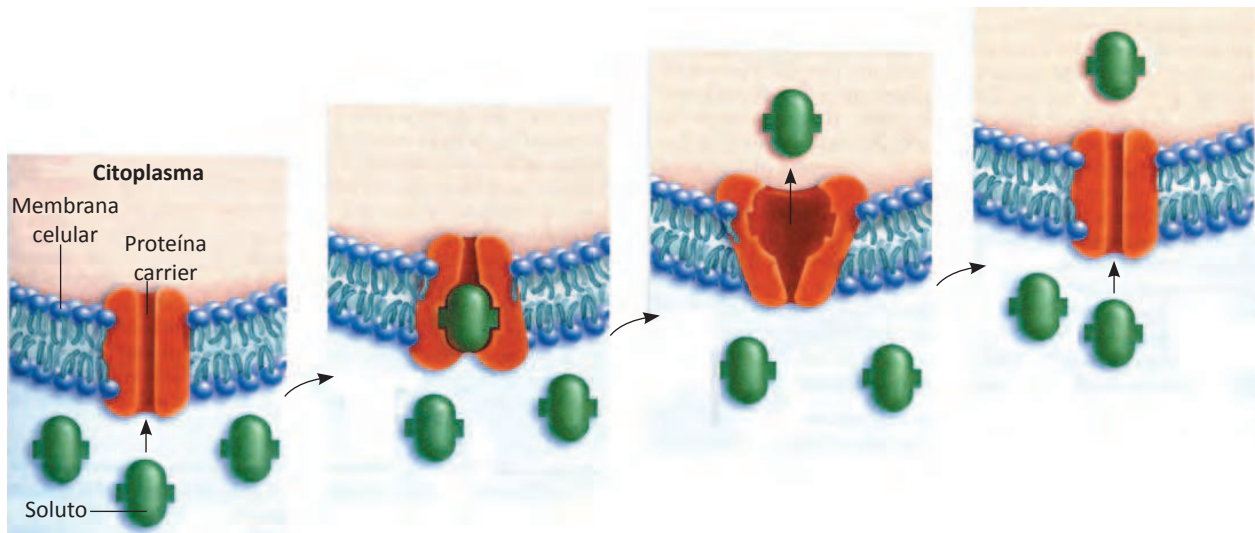


Figura 2.14 Difusión facilitada. Observa que en esta difusión, la proteína transportadora cambia de forma a medida que mueve el soluto a través de la membrana plasmática.

Transporte activo

En este tipo de transporte también intervienen **proteínas de membrana transportadoras**, pero éstas requieren energía en forma de ATP para poder transportar las moléculas al otro lado de la membrana, por lo tanto este transporte se realiza en contra del gradiente electroquímico. **La bomba de sodio y potasio** (Na^+/K^+) es un ejemplo de transporte activo. Esta bomba requiere una proteína que bombea 3 iones de sodio (3Na^+) hacia el exterior de la membrana y 2 iones de potasio (2K^+) hacia el interior. Esta proteína actúa contra el gradiente de concentración, gracias a su actividad enzimática como ATPasa, ya que rompe el ATP para obtener la energía necesaria para el transporte y genera $\text{ADP} + \text{P}$ (adenosin-difosfato + fosfato).

Transporte de moléculas de elevado peso molecular

Algunas sustancias pueden entrar o salir de la célula sin atravesar la membrana por procesos completamente diferentes de los vistos anteriormente. Estos procesos implican la fusión o la escisión de membranas y tienen una importancia fundamental para las células.

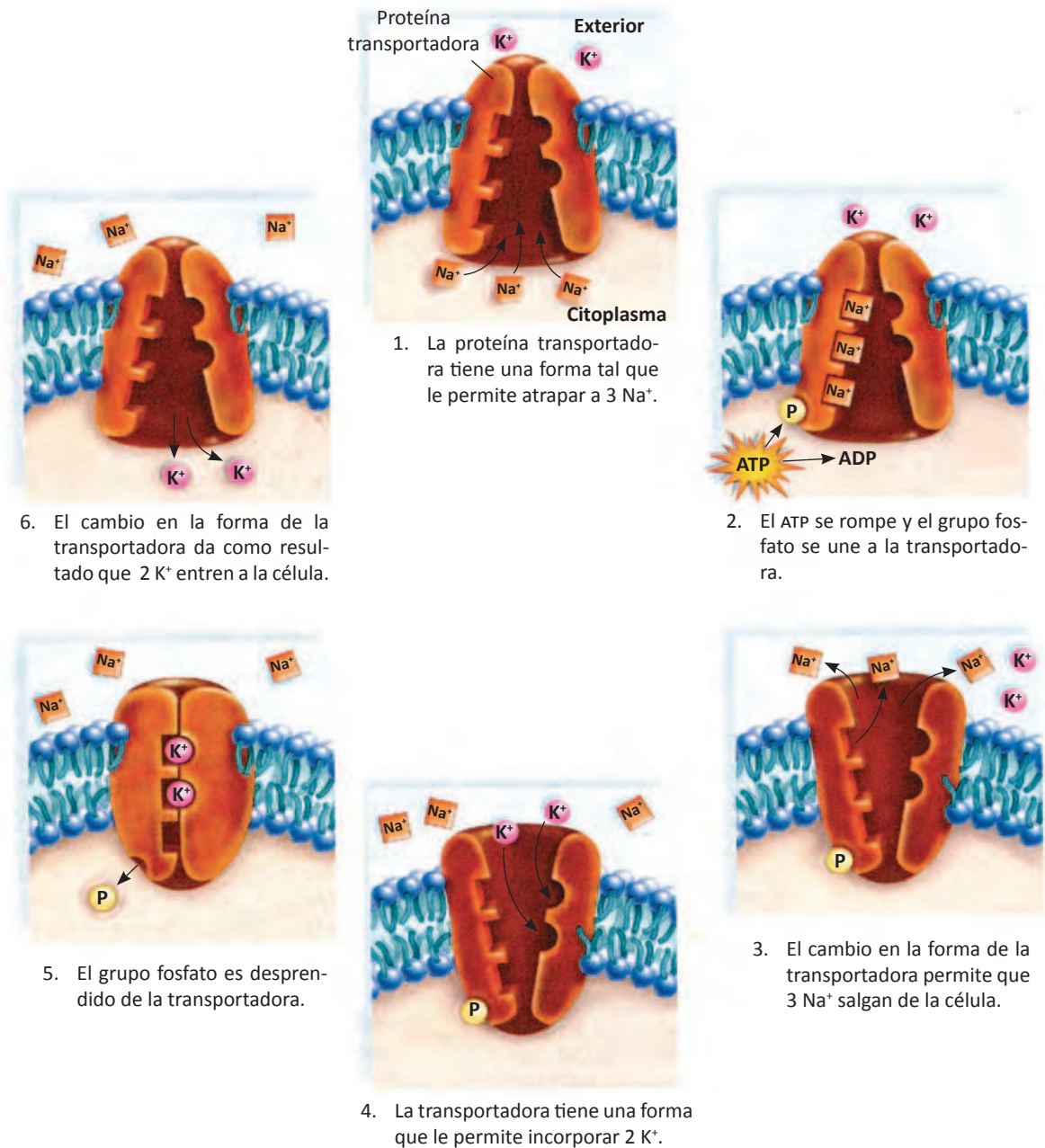


Figura 2.15 La bomba de sodio/potasio (Na⁺/K⁺). La misma proteína carrier saca de la célula iones sodio e introduce iones potasio. La proteína experimenta un cambio de forma que depende de la energía que le confiere el ATP.

Las moléculas grandes, partículas de alimento e incluso células pequeñas, también se mueven hacia el interior y exterior de la célula. Se pueden mover mediante la **endocitosis** y la **exocitosis**, mecanismos que requieren un gasto directo de energía por parte de las células.

En la endocitosis, la célula introduce materiales. En los sistemas biológicos, se realizan diversos mecanismos endocitóticos: pinocitosis, fagocitosis y endocitosis mediada por receptor.

En la **fagocitosis** (“ingestión de células”) la célula engulle partículas sólidas grandes que le sirven de alimento, éstas pueden ser bacterias, protozoarios, etc. La fagocitosis la utilizan los

protistas, tales como las amebas, para ingerir alimentos. Los glóbulos blancos también ingieren bacterias y otras partículas mediante fagocitosis. Durante la ingestión, la partícula que se ha unido a la superficie de la célula, se rodea de membrana plasmática y se forma un gran saco membranoso o vacuola llamado **fagosoma**. Cuando la membrana envuelve por completo a la partícula, ésta se fusiona con el punto de contacto y se produce un estrangulamiento de la membrana. En seguida, la vacuola se fusiona con lisosomas que vierten potentes enzimas hidrolíticas sobre el material ingerido.

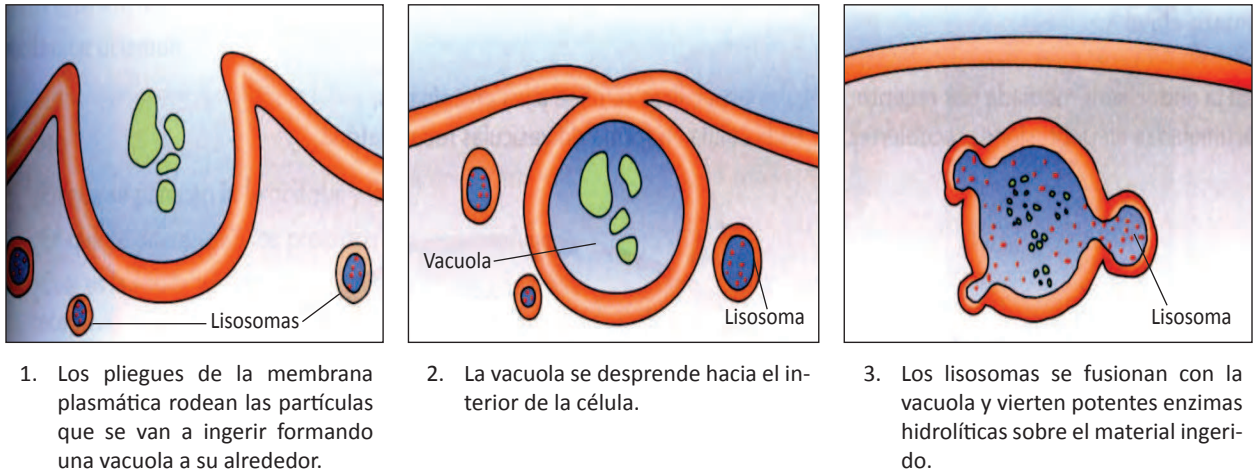


Figura 2.16 La fagocitosis. En este tipo de endocitosis, una célula ingiere partículas sólidas relativamente grandes.

En la **pinocitosis** que significa “células bebiendo”, la célula capta materiales disueltos. En este tipo de endocitosis, los pliegues de la membrana plasmática atrapan microgotas de líquido que se desprenden en el citoplasma como diminutas vesículas. A continuación, el contenido líquido de éstas se transfiere lentamente al citosol, y las vesículas pinocíticas van disminuyendo de tamaño.

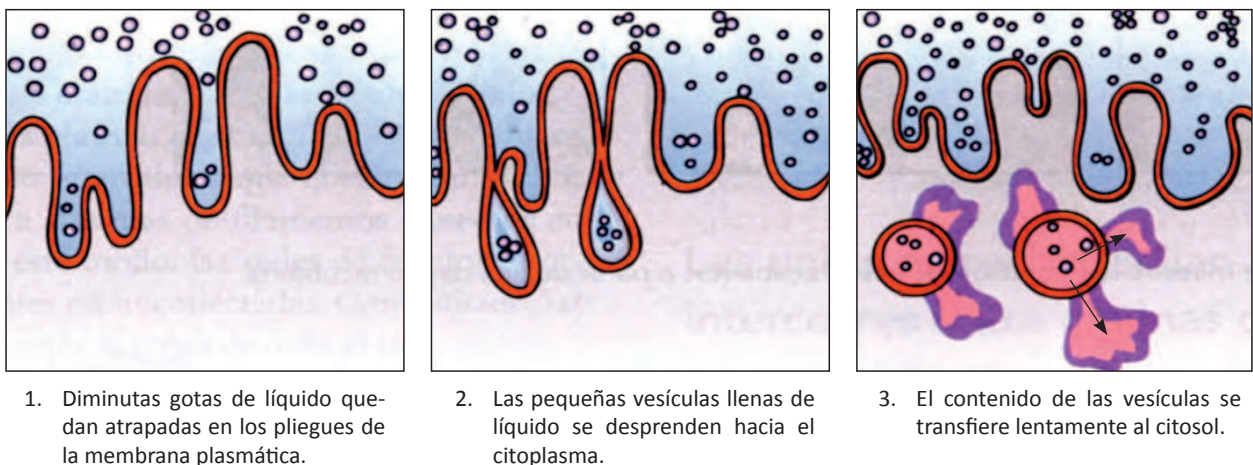


Figura 2.17 La pinocitosis. Tipo de endocitosis en la cual la célula toma, en pequeñas vesículas membranosas, líquidos y solutos disueltos.

En la **endocitosis mediada por receptor**, moléculas específicas (que van a entrar a la célula), se combinan con **proteínas receptoras** incluidas en la membrana plasmática. Este tipo de endocitosis es el mecanismo principal por el cual las células eucarióticas captan macromoléculas.

La endocitosis mediada por receptor es selectiva y mucho más eficiente que la pinocitosis. Está involucrada en el intercambio de sustancias entre células. Un ejemplo, es el intercambio de sustancias entre la sangre materna y la sangre fetal. Otro caso de endocitosis mediada por receptor es cuando las células captan el colesterol de la sangre.

El proceso de la **potocitosis** es un tipo de endocitosis especial, ya que se tiene que acumular un cierto número de moléculas para que se pueda iniciar el proceso de endocitosis.

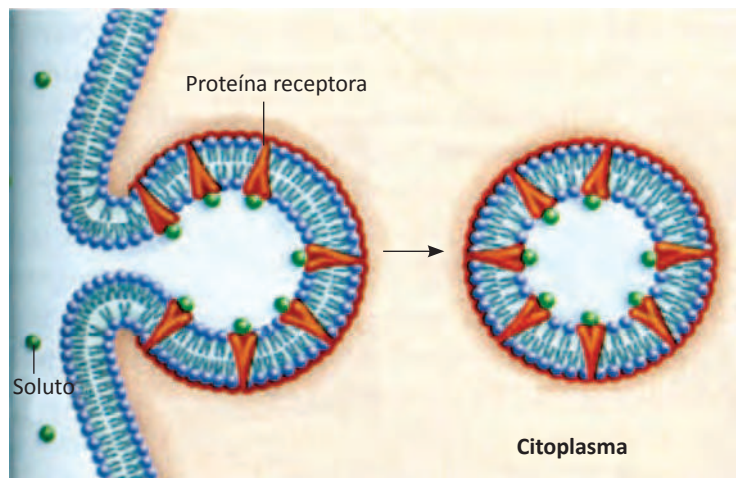


Figura 2.18 La endocitosis mediada por receptor.

El transporte de moléculas grandes hacia el exterior de la célula se lleva a cabo mediante la exocitosis y la transcitosis.

En la **exocitosis**, una célula expulsa productos de desecho o específicos de secreción. El mecanismo mediante el cual se realiza es el siguiente: ciertas vesículas intracelulares se fusionan desde el lado interno de la membrana plasmática y su contenido se libera al exterior. La fusión de membranas es mediada en general por proteínas llamadas **proteínas de fusión**.

Este proceso de exocitosis da lugar a la incorporación de la membrana de la vesícula secretora a la membrana plasmática en el momento que el contenido de la vesícula es liberado, de esta manera crece la membrana plasmática para recuperar su tamaño, ya que mediante la endocitosis disminuye su tamaño.

Por medio de este proceso se liberan las proteínas de la leche de las glándulas mamarias, además, se exportan neurotransmisores, enzimas digestivas, y hormonas como la insulina en

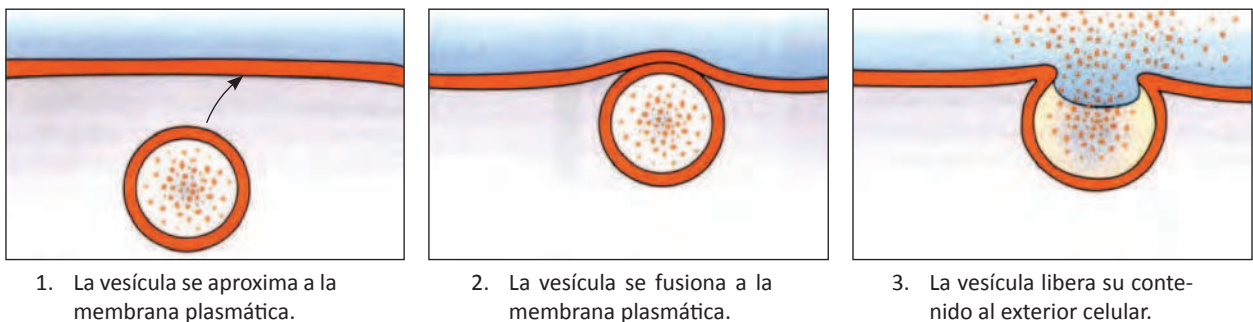


Figura 2.19 La exocitosis.

respuesta a una señal o un estímulo de origen externo.

En la **transcitosis** ocurren un conjunto de fenómenos que permiten a una sustancia atravesar todo el citoplasma celular de un polo a otro de la célula. Implica el doble proceso endocitosis-exocitosis.

Este mecanismo es propio de las células endoteliales que revisitan los capilares sanguíneos, transportándose así las sustancias desde el medio sanguíneo hasta los tejidos que rodean a los capilares.

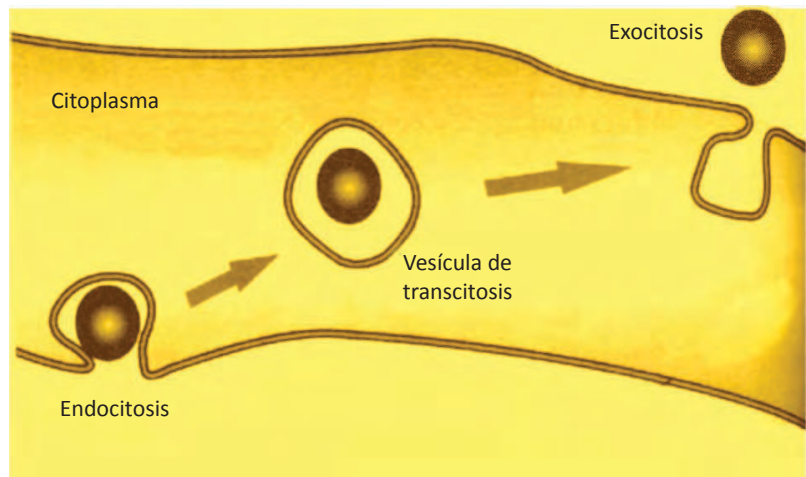
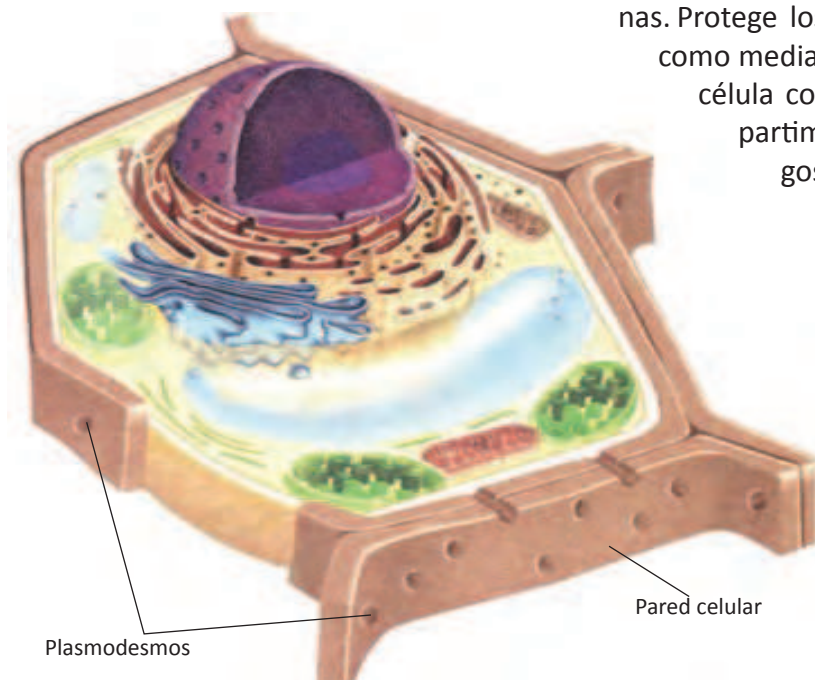


Figura 2.20 Esquema de la transcitosis. En esta célula endotelial las moléculas atraviesan todo el citoplasma celular de un polo a otro de la célula.

Paredes celulares (vegetal y fungal)

La **pared celular** es una capa rígida que se localiza en el exterior de la membrana plasmática en los vegetales, en la mayoría de las células fúngicas, en algunas algas y en las células bacterianas. Protege los contenidos de la célula, funciona como mediadora en todas las relaciones de la célula con el entorno y actúa como compartimiento celular. En el caso de hongos y plantas, define la estructura y proporciona soporte a los tejidos.



Pared celular vegetal

En las plantas, las paredes celulares rígidas, no solo **protegen** y le dan **forma** a las células, sino que también proporcionan el **soporte** que mantiene a las plantas erguidas sobre el suelo.

Las células vegetales tienen un límite hacia el exte-

Figura 2.21 Dibujo de una célula vegetal que muestra claramente la pared celular y los plasmodesmos, canales que comunican una célula con otra.

rior de la membrana celular, este límite adicional, llamado **pared celular**, es una estructura que rodea a la membrana plasmática, formada de **celulosa** (un polisacárido), **pectina** (un derivado de los carbohidratos) y **lignina** (polímero aromático, que cuando las plantas contienen gran cantidad, se les llama leñosas) principalmente.

Las células jóvenes en las partes de las plantas que crecen activamente, secretan polisacáridos similares a la **goma (pectina)**, **glucoproteínas** y **celulosa**.

La pared celular vegetal es de 10 a 100 veces más gruesa que la membrana plasmática. Consiste en fibras del polisacárido **celulosa** embebidas en una matriz de otros polisacáridos y proteínas.

Las paredes celulares poseen múltiples capas. Entre las paredes de células adyacentes existe una capa de polisacáridos adhesivos (en café oscuro) que mantiene a las células unidas entre sí.

Las paredes de las células vegetales maduras pueden ser muy fuertes; son el componente principal de la madera.



Figura 2.22 Micrografía electrónica que muestra varias capas de celulosa en la pared celular, magnificada 3,000 aumentos.

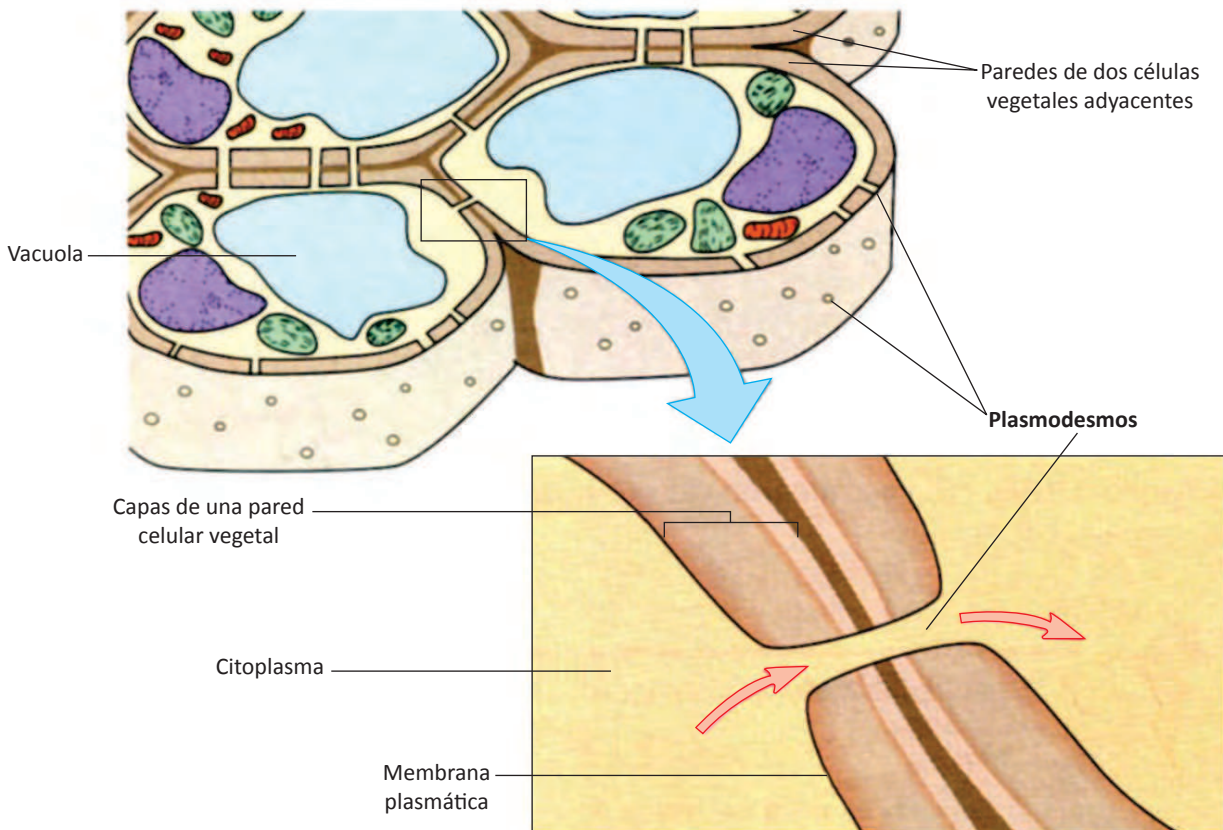


Figura 2.23 Paredes celulares vegetales y las uniones celulares (plasmodesmos).

A pesar de su grosor, las paredes de las células vegetales no aíslan totalmente a unas células de otras. Para funcionar de manera coordinada como parte de un tejido, las células poseen uniones celulares, los **plasmodesmos**, estructuras que las conectan entre sí. Los plasmodesmos son canales entre células adyacentes que forman un sistema circulatorio y de comunicación que conecta a las células en los tejidos vegetales.

El fluido citoplásmico circula a través de los plasmodesmos, de esta manera, el agua y otras moléculas pequeñas pueden pasar fácilmente de una célula a otra. Por esta razón, las células vegetales comparten el agua, nutrientes y mensajes químicos que influyen en el crecimiento y la división celular.

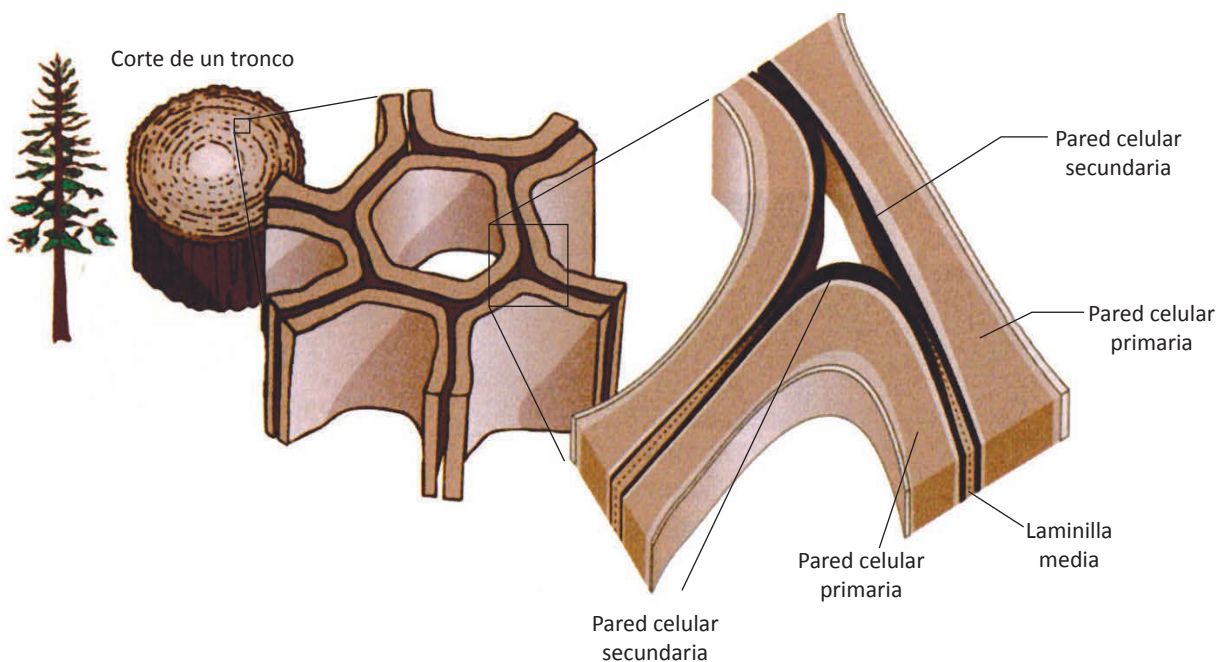


Figura 2.24 Dibujo de las paredes celulares de dos células contiguas que han muerto.

El número de plasmodesmos (porosidad), está determinado por la matriz de pectina. Además, la pectina proporciona cargas que regulan el pH de la pared celular.

Cuando una célula vegetal se divide, se forma una capa delgada de material aglutinante entre las dos células nuevas que constituyen la **laminilla media**, formada principalmente por pectinas. La laminilla media, como parte de la pared celular, mantiene unidas a dos células contiguas. En seguida, cada célula vegetal construye su **pared celular primaria** a cada lado de esta laminilla. La pared primaria contiene, principalmente, moléculas de celulosa asociadas en haces de **microfibrillas** entrelazadas de manera que forman una red que protege a la célula y proporciona soporte a la planta. Las microfibrillas están dispuestas en una matriz de polímeros viscosos. La celulosa de las paredes celulares es precisamente la que proporciona el volumen de fibra en nuestra dieta alimenticia. La pared primaria está presente en todas las células vegetales y es producto de la acumulación de 3 o 4 capas sucesivas de microfibrillas de celulosa.

A medida que la célula madura, puede formar una **pared celular secundaria**, dependiendo de la especialización de cada tipo celular. Es la capa más adyacente a la membrana plasmática. La

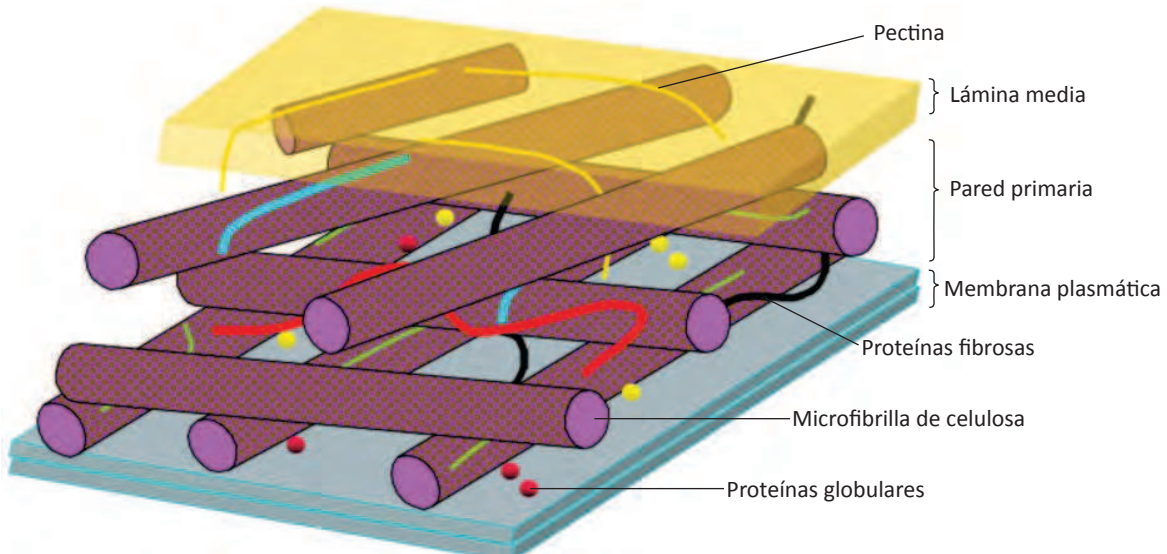


Figura 2.25 Esquema de la pared celular.

pared secundaria contiene mayor proporción de celulosa que la pared primaria, además contiene lignina y suberina que la refuerzan.

La pared celular vegetal también está constituida por **proteínas estructurales** (fibrosas) y **proteínas solubles**. Las proteínas estructurales son ricas en uno o dos aminoácidos y están glucosiladas. Se consideran proteínas estructurales de la pared celular vegetal: proteínas ricas en hidroxiprolina, proteínas ricas en prolina, proteínas ricas en glicina. Las proteínas solubles son las enzimas relacionadas con la producción de nutrientes (glucosidasa), enzimas relacionadas con el metabolismo de la pared celular (xiloglucano-transferasas y peroxidasas), proteínas de transporte, proteínas de defensa, etc.

El crecimiento de las células vegetales está limitado por el crecimiento a su vez de la pared celular. Las paredes **controlan** tanto la velocidad como la dirección del crecimiento.

En las plantas el crecimiento ocurre, fundamentalmente, por alargamiento celular, en un proceso en el que la célula agrega nuevos materiales a sus paredes.

Cuando la célula muere, deja solo la pared celular como una obra arquitectónica de la célula.

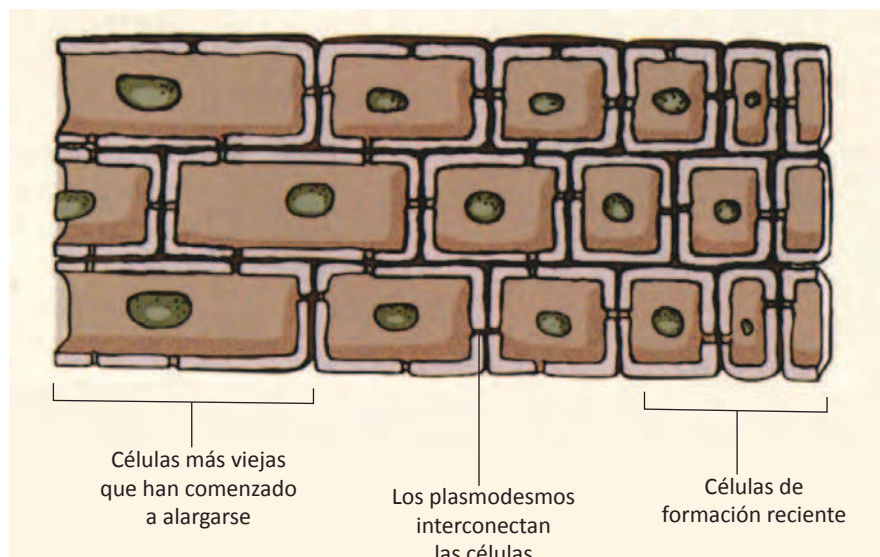


Figura 2.26 Dibujo que muestra como las células de formación reciente están menos alargadas que las células viejas.

Pared celular fúngica

La mayoría de los hongos poseen pared celular, cuyo principal componente es el polisacárido nitrogenado llamado **quitina**, misma que le da dureza a los exoesqueletos de los artrópodos.

La composición, las características y la forma de la pared celular de los hongos varían durante su ciclo de vida y depende de las condiciones de crecimiento.

Las funciones de la pared celular fúngica son:

- Proporcionar rigidez a las células para mantenerles su forma.
- Prevenir la lisis osmótica.
- Limitar la entrada de sustancias que pueden ser tóxicas para el hongo, tales como fungicidas sintéticos o producidos por los vegetales.

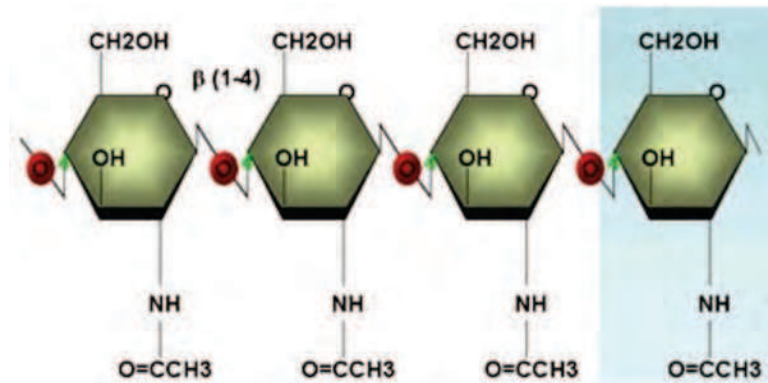


Figura 2.27 La quitina (polisacárido de la N-acetil- D-glucosamina), es el componente principal de las paredes celulares de los hongos.

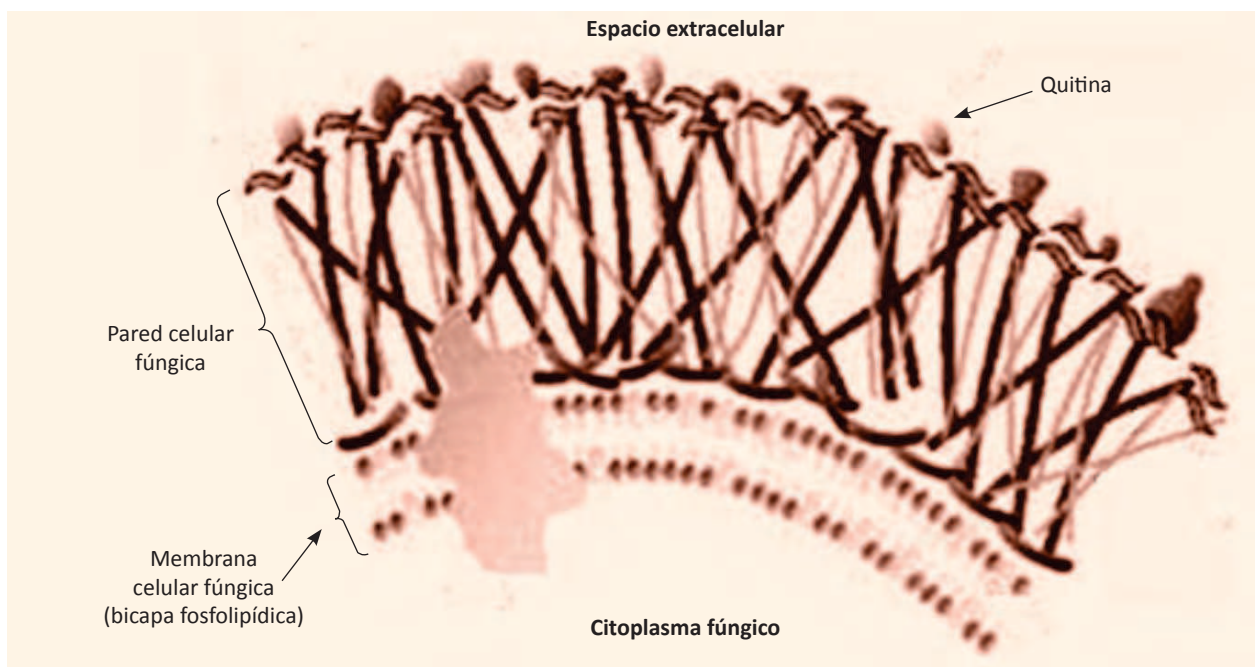


Figura 2.28 Dibujo de un segmento de la pared celular fúngica.

AUTOEVALUACIÓN
Repaso de la unidad

Contesta lo que se te pide

1. Describe el modelo del mosaico fluido de la membrana plasmática.

2. Explica el acomodo de los fosfolípidos en la membrana plasmática.

3. Explica los movimientos de los fosfolípidos en la membrana plasmática.

4. Explica el acomodo de las proteínas periféricas e integrales de la membrana plasmática.

5. Menciona las funciones de la membrana plasmática.

6. Menciona las funciones del glucocáliz.

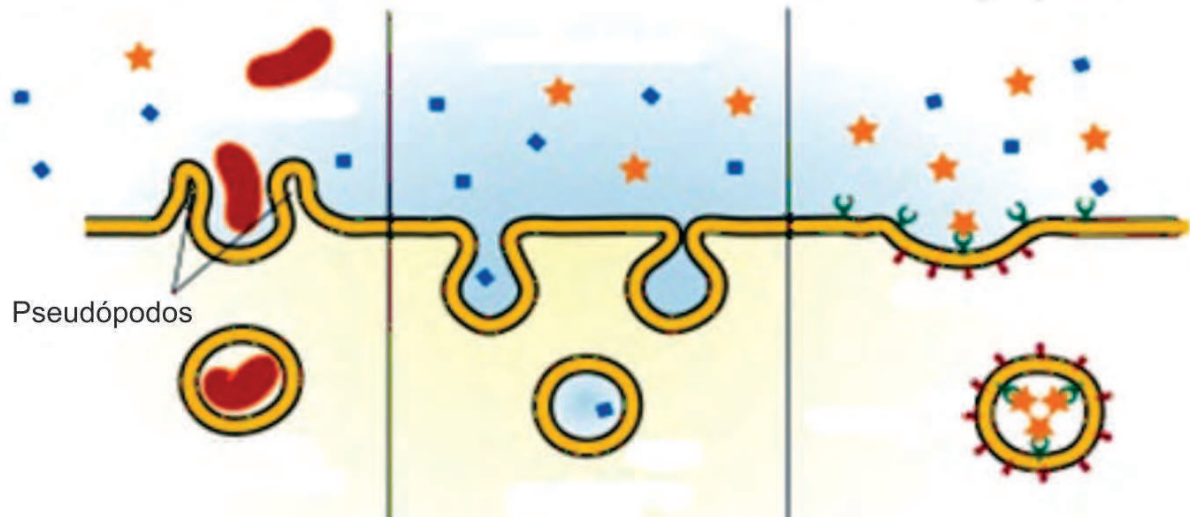
7. Explica las formas mediante las cuales se puede realizar la difusión simple.

8. En la figura 2.12, explica por qué no se lleva a cabo la difusión de oxígeno desde el capilar sanguíneo hacia el alveolo pulmonar.

9. Menciona las funciones de la pared celular vegetal.

10. Escribe en la parte inferior, el nombre a los tres tipos de endocitosis.

Tipos de endocitosis



Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f)

1. El principal componente de la pared celular de los hongos es la celulosa. ()
2. La pared secundaria de la pared celular vegetal está presente en todas las células vegetales. ()
3. La pared celular de las bacterias contiene peptidoglucano. ()
4. La laminilla media mantiene unidas a dos células vegetales contiguas. ()
5. La celulosa, la pectina y la lignina forman parte de las paredes celulares vegetales. ()
6. Los plasmodesmos son canales presentes en las células vegetales adyacentes. ()
7. La pinocitosis es más selectiva que la endocitosis mediada por receptor. ()
8. En la bomba de Na^+/K^+ , se requiere una proteína que bombea 3Na^+ hacia el exterior de la membrana y 2K^+ hacia el interior. ()
9. La transcitosis implica dos procesos: endocitosis y exocitosis. ()
10. El CO_2 y el O_2 pueden atravesar libremente la membrana plasmática. ()

Selecciona la opción correcta

1. Las células captan el colesterol de la sangre mediante:

- | | |
|-------------------------------------|-----------------|
| a. Endocitosis mediada por receptor | b. Fagocitosis |
| c. Pinocitosis | d. Transcitosis |
| e. Potocitosis | |

2. La bomba de Na^+/K^+ es un ejemplo de:
 - a. Transporte activo
 - b. Difusión facilitada
 - c. Difusión simple a través de canales
 - d. Difusión simple a través de la bicapa
 - e. Osmosis

3. Cuando un glóbulo rojo está rodeado de una solución hipertónica:
 - a. El glóbulo rojo no varía su forma ni tamaño
 - b. El glóbulo rojo se arruga
 - c. El glóbulo rojo pierde agua por osmosis
 - d. El glóbulo rojo se llena de agua y estalla
 - e. b y c son correctas

4. Es el mecanismo principal por el cual la célula eucariota capta macromoléculas:
 - a. Endocitosis mediada por receptor
 - b. Pinocitosis
 - c. Potocitosis
 - d. Transcitosis
 - e. c y d son correctas

5. La difusión facilitada requiere de:
 - a. Proteínas transportadoras
 - b. Iones
 - c. Permeasas
 - d. Altas concentraciones de agua
 - e. a y c son correctas

6. Una sustancia que se desplaza por medio del transporte pasivo, tiende a:
 - a. Alejarse del área de equilibrio
 - b. Alejarse del área en donde la concentración es menor
 - c. Alejarse del área en donde la concentración es mayor
 - d. Acercarse al área en donde la concentración es mayor
 - e. a y c son correctas

7. Cuando las células vegetales están en un medio hipotónico:
- Sufren plasmólisis
 - Aumentan su presión de turgencia
 - Se marchitan
 - Disminuye la pinocitosis
 - Pierde agua, que pasa al entorno
8. ¿Cuál de los siguientes procesos necesita que la célula consuma energía del ATP?
- Difusión facilitada
 - Difusión simple
 - La ósmosis
 - Transporte activo
 - Todas las formas de transporte mediadas por transportador
9. Las membranas celulares consisten principalmente en:
- Proteínas
 - Bicapas lipídicas
 - Carbohidratos
 - Colesterol
 - Bombeos de proteínas
10. Las uniones que permiten la transferencia de agua, iones y moléculas entre células vegetales adyacentes son:
- Uniones estrechas
 - Uniones adherentes
 - Desmosomas
 - Uniones en hendidura
 - Plasmodesmos

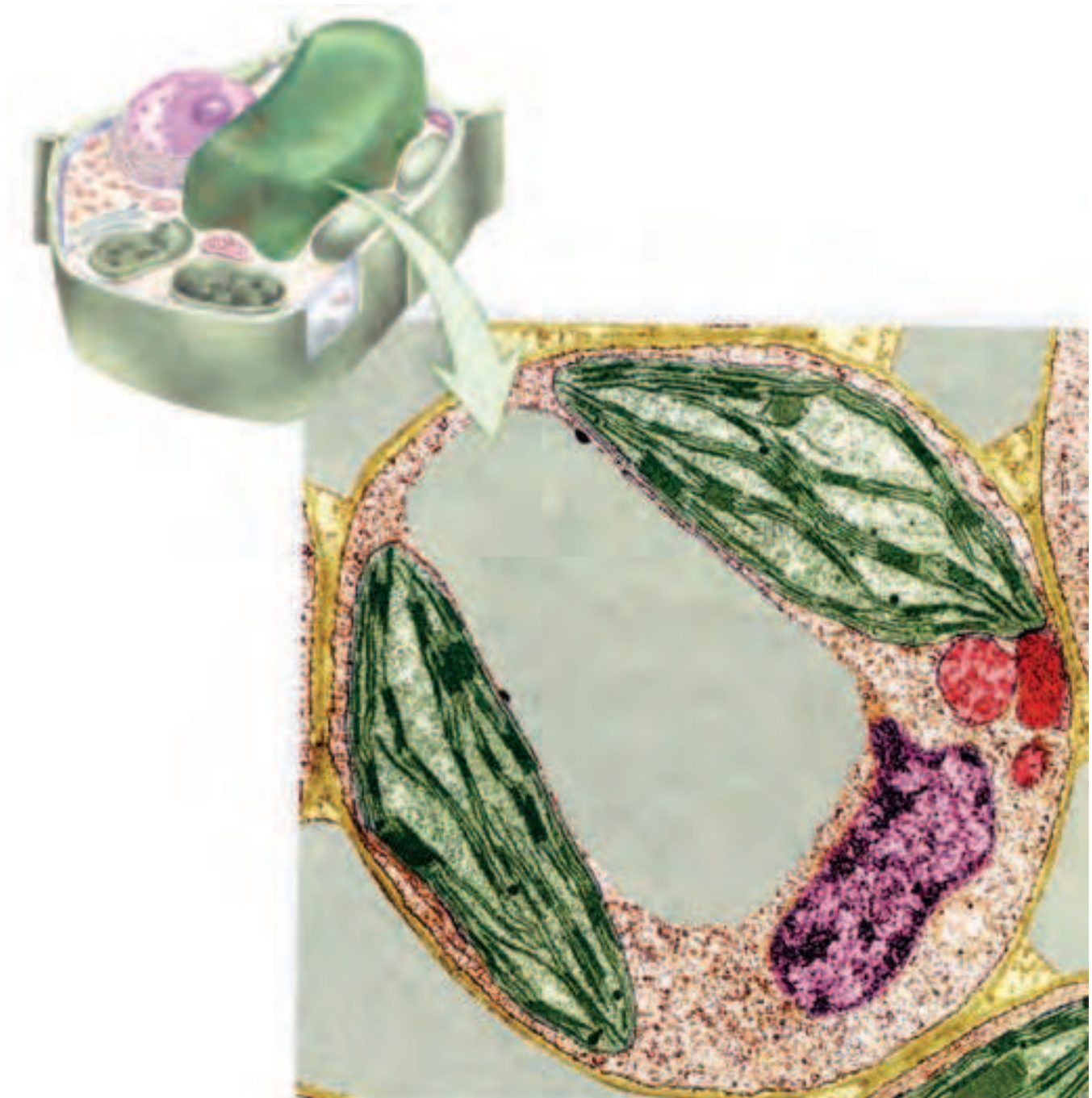
En la siguiente sopa de letras, localiza lo que se te pide:

1. Constituyen el 55 % de la membrana plasmática.
2. Es uno de los movimientos que realizan los fosfolípidos en la membrana plasmática.
3. Molécula que contribuye a que la doble capa lipídica sea menos flexible y permeable.
4. Molécula que puede cruzar libremente la membrana plasmática.
5. Proceso en el que los pliegues de la membrana plasmática atrapan microgotas de líquido, que se desprenden en el citoplasma como diminutas vesículas.
6. Es un componente de la pared celular vegetal.
7. Son canales que conectan entre sí a las células en los tejidos vegetales.

E	P	L	A	S	M	O	D	E	S	M	O	S
P	I	N	O	C	I	T	O	S	I	S	Y	O
I	L	U	S	R	O	L	V	E	D	E	S	P
F	O	S	F	O	L	I	P	I	D	O	S	I
I	S	I	O	T	A	T	I	T	Y	R	A	C
L	T	L	S	A	G	U	A	R	U	T	O	S
O	E	V	F	C	E	L	U	L	O	S	A	B
M	N	I	O	I	J	Q	U	E	Y	U	R	E
E	T	A	C	O	L	A	G	E	N	O	E	C
N	A	R	A	N	I	N	F	A	E	G	X	A

UNIDAD 3

SOPORTE, LOCOMOCIÓN, ALMACENAMIENTO Y RECICLADO CELULAR



Citoplasma

Todo lo que existe dentro de una célula, se denomina citoplasma, localizado entre la membrana plasmática y el núcleo, es decir, es todo el material que está delimitado por la membrana plasmática, sin incluir el núcleo.

El término **citoplasma** incluye el citosol, citoesqueleto y todos los organelos, a excepción del núcleo. Junto con el citosol (la porción líquida del citoplasma), los organelos ayudan a formar el citoplasma. Los organelos no flotan libremente en el citosol, sino que están interconectados y asociados por la red compleja de filamentos proteínicos que constituyen el citoesqueleto.

Citosol

El **citosol** es una solución semi-líquida que está compuesta de agua, así como de moléculas inorgánicas (Ca^{++} , Na^+ , Cl^- , K^+ , etc.) y orgánicas (glucosa, aminoácidos, proteínas, nucleótidos, ARNt, ácidos grasos, etc.) Entre las moléculas proteicas existe una gran variedad de enzimas, las cuales aceleran las diferentes reacciones químicas involucradas en el metabolismo. Las proteínas constituyen del 20-30% del peso del citosol. En este se encuentran suspendidos diversos organelos.

Los **organelos**, del latín, “órganos pequeños” son estructuras celulares cuya anatomía le proporciona una función específica en la vida de la célula. Como recordarás, los nombres de algunos organelos son: mitocondrias, aparato de Golgi, retículo endoplásmico, ribosomas, vacuolas, lisosomas, cloroplastos, etc.

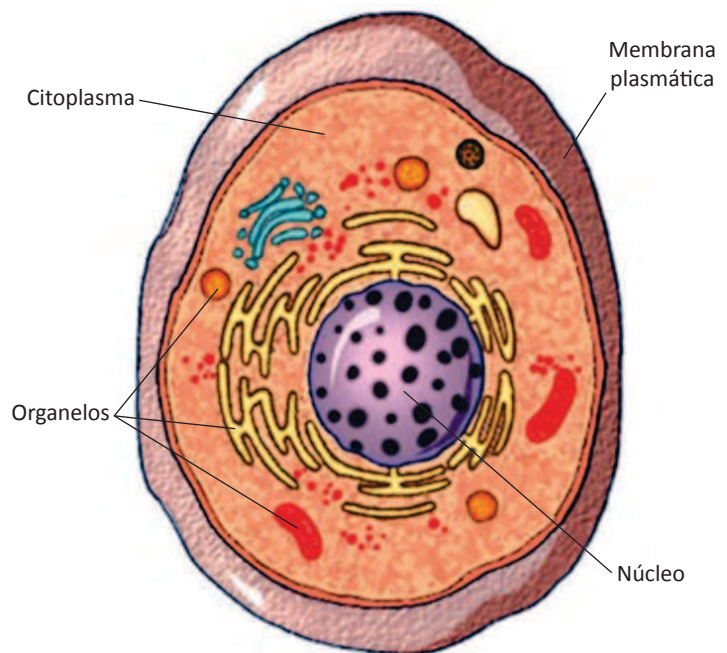


Figura 3.1 El citoplasma es todo el contenido celular sin incluir el núcleo. Está delimitado por la membrana plasmática.

Citoesqueleto

El **citoesqueleto** o esqueleto del citoplasma, es un armazón formado por una densa red de fibras de proteínas que proporciona a las células resistencia mecánica y soporte importante para mantener la forma, capacidad para moverse, transportar materiales dentro de la célula y el movimiento de organelos. Por lo tanto, el citoesqueleto se compara con frecuencia con los huesos y los músculos de un animal.

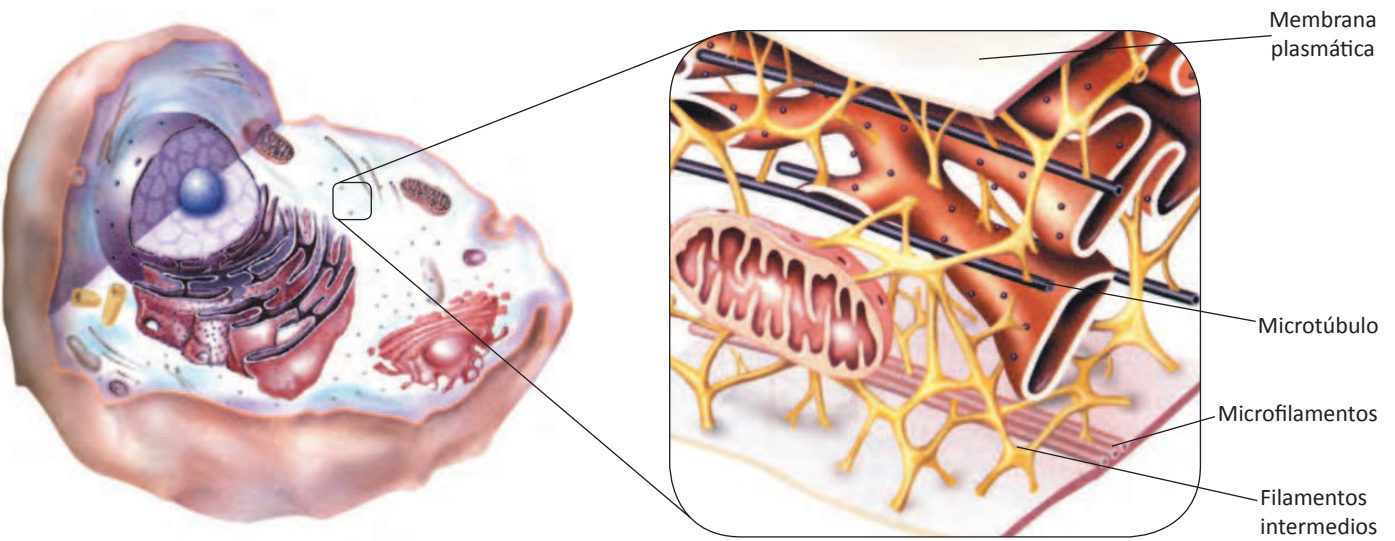
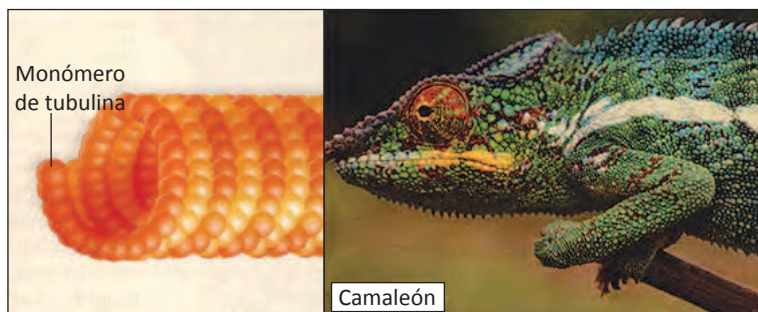
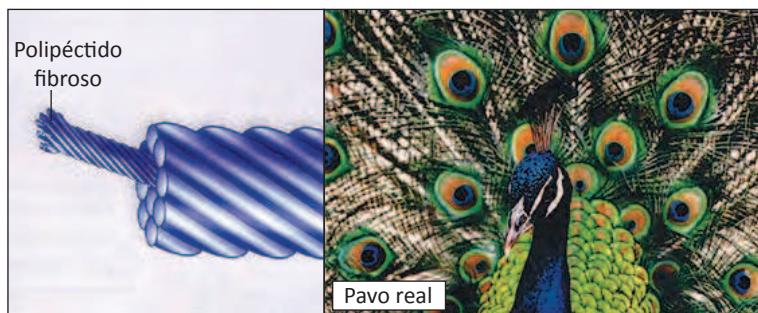
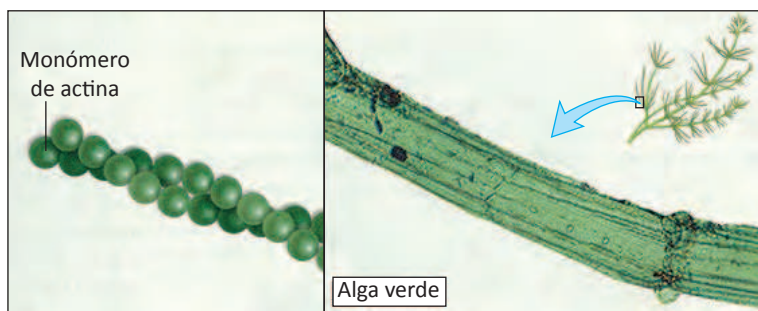


Figura 3.2 Dibujo del citoesqueleto basado en observaciones con microscopio electrónico.



Las proteínas que componen el citoesqueleto se interconectan y se extienden desde el núcleo hasta la membrana plasmática en células eucarióticas. En 1970, se creía que el citoplasma estaba organizado de una mezcla de moléculas orgánicas. Con el microscopio electrónico se logró observar que el citoplasma está altamente organizado. Con el microscopio de inmunofluorescencia se identifican los componentes proteínicos del citoesqueleto.

Figura 3.3 Los tres componentes (de arriba hacia abajo) del citoesqueleto: filamentos de actina, filamentos intermedios y microtúbulos. La célula gigante del alga verde *Chara* posee filamentos de actina que mueven a los organelos de un extremo a otro de la célula. Las plumas coloridas del pavo real se refuerzan con los filamentos intermedios. Los microtúbulos de las células de la piel del camaleón provocan el movimiento de los gránulos de pigmentos que producen el camuflaje en este reptil, que le sirve para adaptarse al ambiente.

El citoesqueleto es muy dinámico y está en continuo cambio porque las proteínas que lo constituyen se contraen y relajan. Su armazón contiene tres tipos de filamentos de proteínas: **filamentos de actina**, **filamentos intermedios** y **microtúbulos**.

Filamentos de actina

Son los filamentos de menor diámetro del citoesqueleto, por esta razón son llamados **microfilamentos**. Son extremadamente delgados, miden aproximadamente 7 nm de diámetro.

Los microfilamentos son bastones helicoidales sólidos constituidos principalmente por una proteína globular llamada **actina**. Cada microfilamento es una doble cadena entrelazada de moléculas de actina, parecido a las perlas. Los microfilamentos de actina participan en el cambio de forma y el movimiento de las células. Los microfilamentos en sí no pueden contraerse, pero pueden generar movimiento ensamblándose (agregando subunidades) y desensamblándose (perdiendo subunidades) rápidamente.

En las células musculares, los microfilamentos se asocian a otros filamentos constituidos de otra proteína, la **miosina**. El ATP unido a la miosina, proporciona energía para la contracción muscular. Cuando el ATP se hidroliza a ADP, la miosina se une a la actina y provoca que los microfilamentos se deslicen. Cuando miles de microfilamentos se deslizan de esta manera, las células musculares se acortan. En células no musculares, la actina también se asocia con la miosina para formar estructuras contráctiles que intervienen en diversos movimientos celulares. Por ejemplo, en la división de células animales, la contracción de un anillo de actina asociada con miosina, constriñe a la célula, formándose dos células hijas.

La presencia de los filamentos de actina en la membrana plasmática favorece la formación de **pseudópodos** o falsos pies, que permiten el movimiento ameboide (de arrastre) del protista *Amoeba* (amiba), de nuestros glóbulos blancos y de células cancerosas. Los filamentos de actina empujan la membrana plasmática hacia afuera, formando protuberancias llenas de citoplasma, los pseudópodos. Las contracciones de los microfilamentos en el extremo opuesto de la célula empujan al citoplasma hacia adelante en la dirección del movimiento.

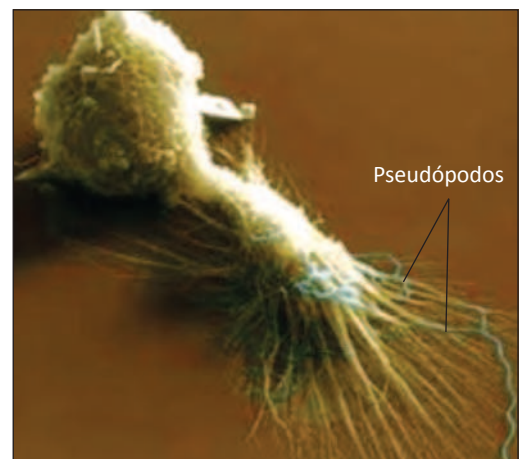
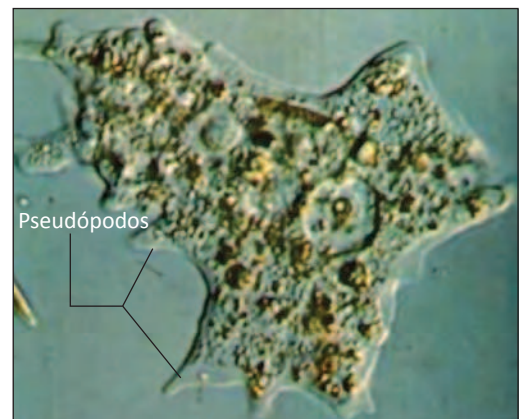


Figura 3.4 Micrografía óptica de ameba (arriba) y micrografía electrónica de un glóbulo blanco (abajo). Las prolongaciones citoplasmáticas (pseudópodos) se forman gracias a la presencia de los filamentos de actina en su membrana plasmática.

Muchos tipos de células tienen microvellosidades, que son proyecciones de la membrana plasmática que aumentan el área superficial de la célula para el transporte de materiales a través de dicha membrana. Las microvellosidades están constituidas de haces de microfilamentos que se extienden y retraen como resultado del ensamblaje y desensamblaje de estos microfilamentos.

En las células vegetales, los filamentos de actina provocan corrientes citoplásmicas a través de las cuales los cloroplastos circulan alrededor de la membrana plasmática, en una dirección particular. A este movimiento circular de los cloroplastos se le conoce como **ciclosis**. Este fenómeno lo podrás observar en la actividad de laboratorio número 5.

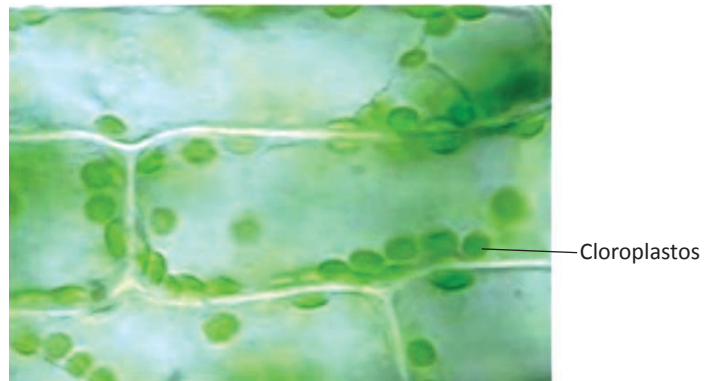


Figura 3.5 La ciclosis de los cloroplastos se observa cuando la temperatura es cálida. Los filamentos de actina forman corrientes citoplásmicas donde circulan los cloroplastos alrededor de la membrana plasmática.

Filamentos intermedios

Se les llama así, debido a que tienen una medida intermedia entre los filamentos de actina y los microtúbulos. Miden de 8-11 nm de diámetro. Están constituidos por polipéptidos fibrosos y tienen forma de mecate, pero cada tipo de filamento es específico para cada tejido.

Los filamentos intermedios funcionan principalmente como bastones de refuerzo para resistir la tensión, pero también ayudan a fijar ciertos organelos. Por ejemplo, el núcleo suele conservar su posición gracias a una jaula entretejida de estos filamentos.

Algunos filamentos intermedios soportan la envoltura nuclear, otros sostienen la membrana plasmática y forman parte de las uniones entre célula y célula.

En la piel, los filamentos intermedios, hechos de la proteína queratina, otorgan gran resistencia mecánica a las células cutáneas.

Microtúbulos

Son los componentes de mayor tamaño del citoesqueleto. Son cilindros huecos rectos que miden aproximadamente 25 nm de diámetro y de 0.2-25 nm de longitud.

Los microtúbulos están constituidos por dos proteínas globulares que son similares: **alfa** (α) **tubulina** y **beta** (β) **tubulina**. Existe una pequeña diferencia en la secuencia de los aminoácidos de la alfa tubulina y la beta tubulina. Estas proteínas se combinan para formar un dímero (asociación de dos monómeros). Cada vuelta de la espiral se compone de 13 dímeros.

Un microtúbulo se alarga a medida que se agregan dímeros de tubulina. Los microtúbulos se desamblan fácilmente mediante la retirada de dímeros, y las subunidades de tubulina pueden

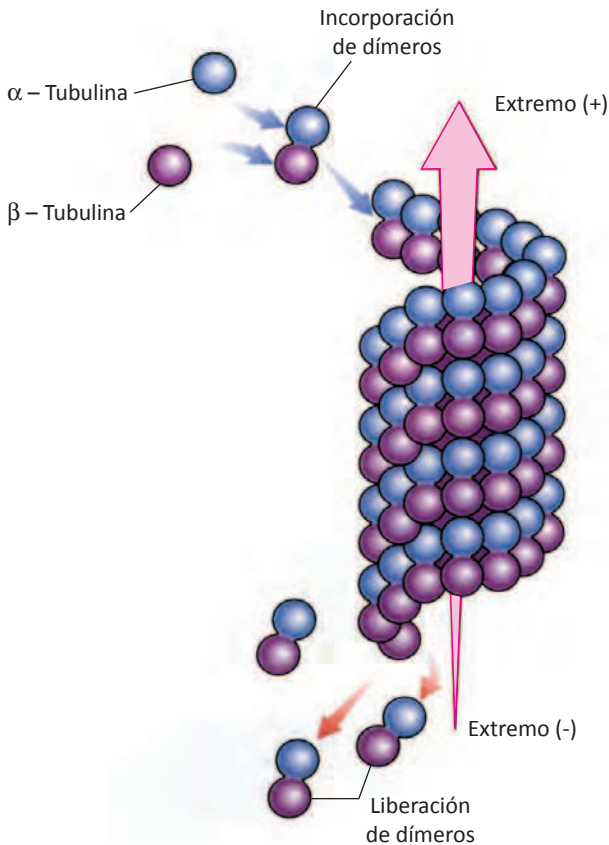


Figura 3.6 Los microtúbulos se forman en la célula por la adición de dímeros de alfa-tubulina y beta-tubulina a un extremo del cilindro hueco. El cilindro tiene polaridad. El extremo mostrado en la parte superior de la figura es el de crecimiento rápido o (+), el opuesto es el extremo (-).

ser usadas en otro microtúbulo, es decir, se reciclan. Cada microtúbulo tiene polaridad y sus dos extremos se conocen como (+) y (-). El extremo (+) se alarga más rápidamente.

Otras proteínas que son importantes para la función de los microtúbulos, son conocidas como proteínas asociadas a los microtúbulos (PAM) y se clasifican en estructurales y motoras. Las **PAM estructurales** ayudan a regular el ensamblaje de microtúbulos y entrelazan los microtúbulos con otros polímeros del citoesqueleto. Las **PAM motoras** utilizan la energía del ATP para producir movimiento.

Una proteína motora, la **cinesina**, mueve los organelos hacia el extremo (+) de un microtúbulo. La **dineína**, otra proteína motora transporta los organelos y las vesículas, en el sentido opuesto, hacia el extremo (-).

Los microtúbulos actúan como rieles para el movimiento de los organelos. Por ejemplo, un lisosoma puede moverse a lo largo de un microtúbulo para alcanzar una vacuola alimenticia. Los microtúbulos guían el movimiento de los cromosomas

cuando las células se dividen y son la base del movimiento ciliar y flagelar. Además, guían a las vesículas de transporte desde el aparato de Golgi hasta la membrana plasmática.

Los microtúbulos son componentes claves del citoesqueleto ya que ayudan a mantener la forma de la célula, participan en el movimiento celular, facilitan el transporte de materiales dentro de la célula y son componentes de cilios, flagelos, centríolos y cuerpos basales.

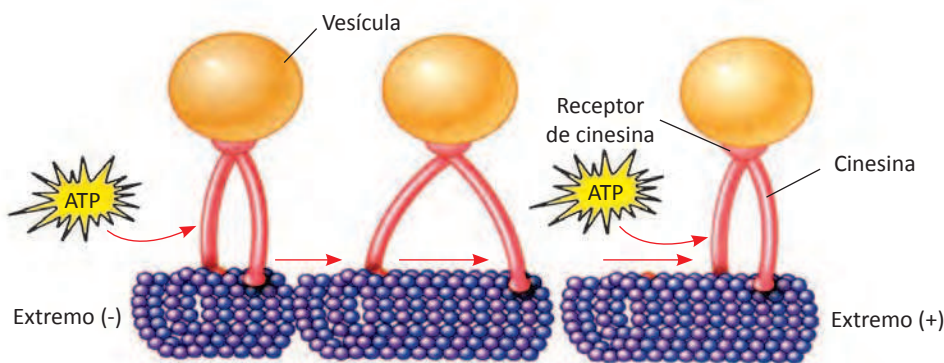


Figura 3.7 Modelo teórico de un motor de cinesina. Una molécula de cinesina se une a un receptor específico de una vesícula. La energía del ATP permite a la molécula de cinesina cambiar su conformación y "andar" sobre el microtúbulo.

Organelos microtubulares: cilios, flagelos y centriolos

Se les conoce como organelos microtubulares a los cilios, flagelos y centriolos debido a que están constituidos de microtúbulos, uno (de los tres) constituyentes del citoesqueleto.

Cilios y flagelos

Los cilios y los flagelos son apéndices locomotores que salen de ciertas células. Los flagelos y los cilios de las células eucariotas son delgadas prolongaciones móviles que poseen una estructura y un mecanismo de movimiento común; la diferencia entre ellos es que los **cilios** son en gran cantidad y mucho más cortos, mientras que los **flagelos** son pocos y más largos. Los cilios y flagelos se mueven constantemente, por lo que requieren de una gran cantidad de energía liberada por las mitocondrias que se localizan cerca de los cuerpos basales.

Los flagelos procarióticos son más pequeños que los eucarióticos y son de estructura diferente ya que están constituidos por una sola fibra de la proteína flagelina (ver unidad 1).

Los numerosos apéndices cortos que impulsan a protistas tales como *Didinium* a través del agua son los cilios. Los flagelos también se presentan en algunos protistas tales como *Trichonympha*.

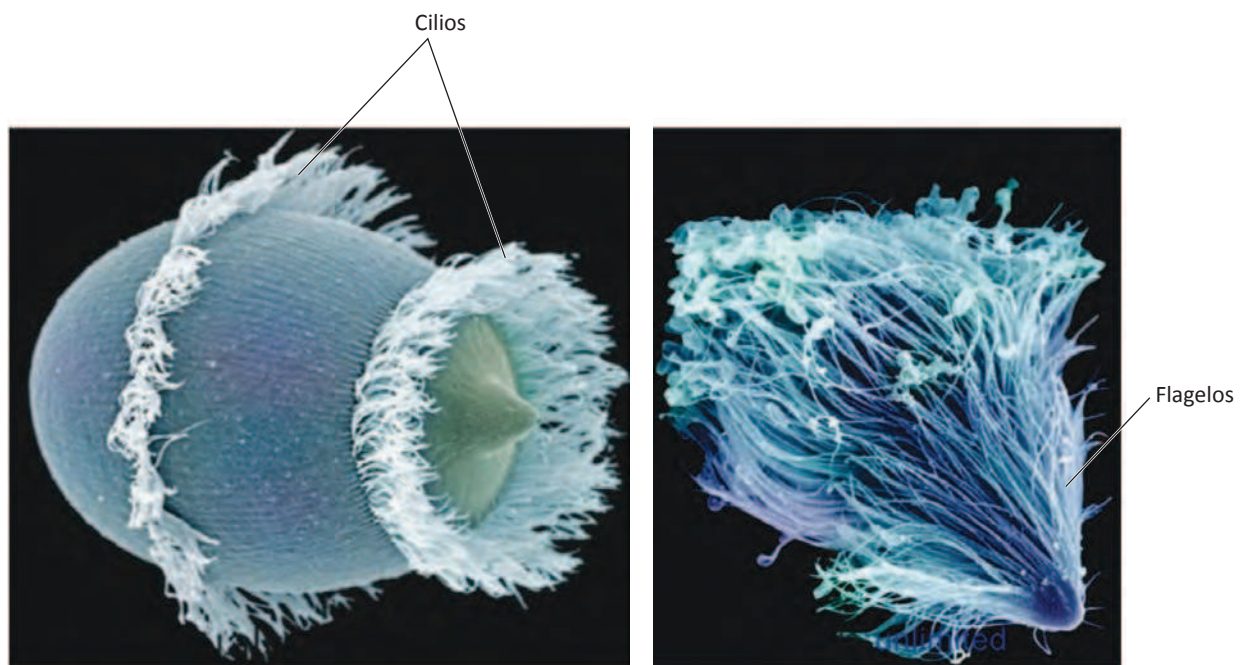


Figura 3.8 Micrografía electrónica de *Didinium*, un protozooario ciliado y de *Trichonympha*, un protozooario flagelado.

Algunas células de organismos pluricelulares poseen cilios o flagelos. Por ejemplo, los cilios que tapizan la tráquea humana, pulsan hacia arriba para barrer el moco que atrapa a las sustancias extrañas (polvo, polen, alquitrán) hacia la garganta, donde se puede eliminar mediante la deglución y de esta forma se limpian los conductos respiratorios. Como se puede observar los

cilios no mueven a las células, sino que sirven para arrastrar sustancias a lo largo de la superficie celular (observa la figura 3.9). La mayoría de los animales y algunas plantas poseen espermatozoides flagelados.

Un cilio o un flagelo está constituido por un centro de microtúbulos envuelto en una extensión de la membrana plasmática. **Un doblete** (par) central de microtúbulos está rodeado por un anillo de **9 dobles** de microtúbulos. A este acomodo, presente en casi todos los flagelos y cilios de las células eucarióticas, se le conoce como arreglo **9 + 2** (ver la figura 3.10). Observa que este acomodo es igual a lo largo de todo el cilio o flagelo, pero es diferente en la base. Esta es conocida como **cuerpo basal**. El cuerpo basal tiene un arreglo circular de **9 tripletes** de microtúbulos. A este acomodo se le denomina **9 + 0**.

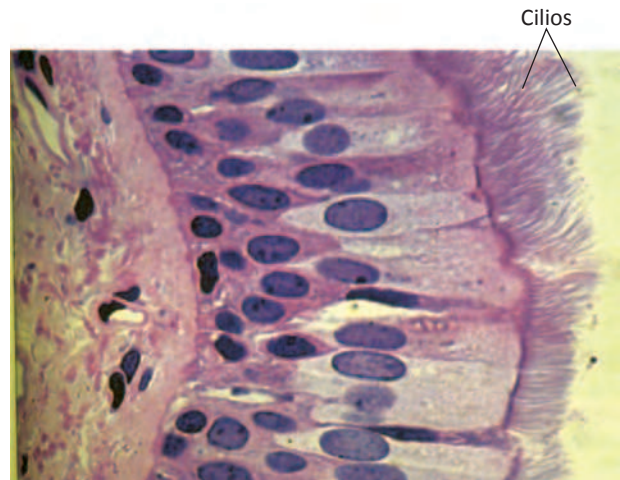


Figura 3.9 Células del epitelio cilíndrico ciliado de las porciones superiores del tracto respiratorio.

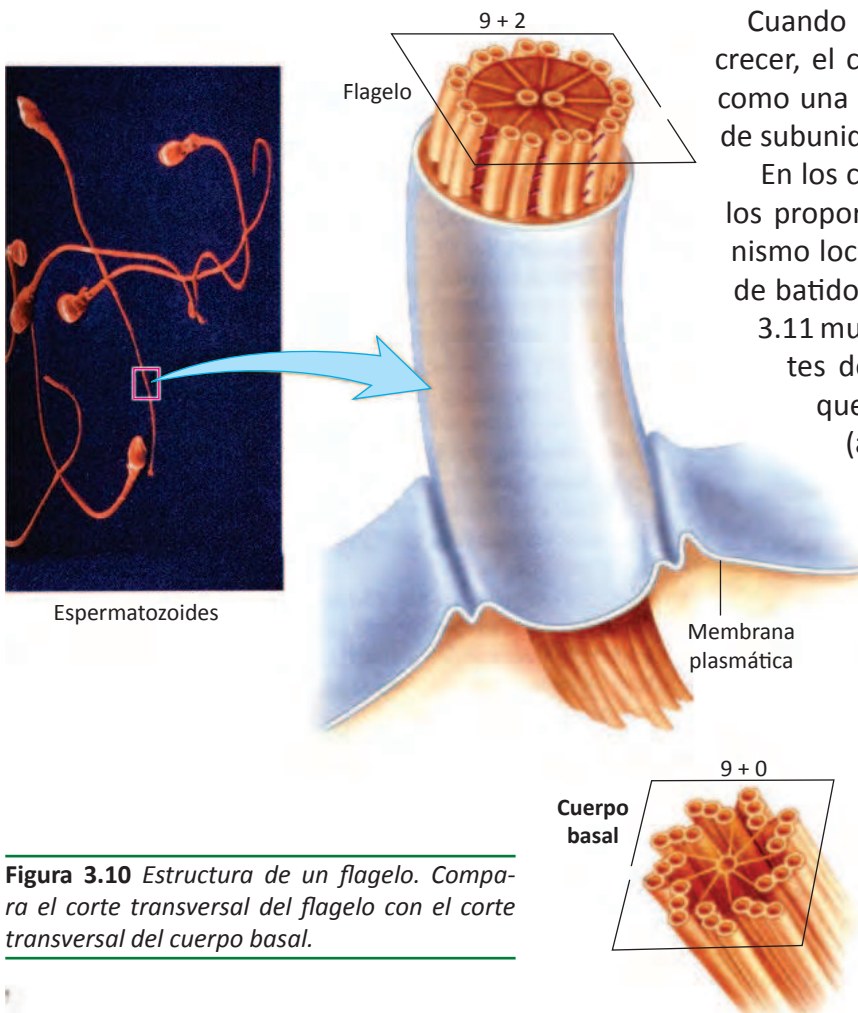


Figura 3.10 Estructura de un flagelo. Compara el corte transversal del flagelo con el corte transversal del cuerpo basal.

Cuando un cilio o flagelo comienza a crecer, el cuerpo basal parece funcionar como una base de microtúbulos a partir de subunidades de tubulina.

En los cilios y flagelos, los microtúbulos proporcionan el soporte y el mecanismo locomotor que impulsa la acción de batido de estos apéndices. La figura 3.11 muestra la posición de dos dobletes de microtúbulos en un flagelo que se encuentra sin movimiento (a la izquierda) y en proceso de doblarse (a la derecha). La curvatura de estos apéndices involucra la participación de “botones” de proteínas adosadas a cada doblete de microtúbulos, los brazos de dineína, en rojo en las ilustraciones. Utilizando energía del ATP, los brazos de dineína se toman del doblete adyacente y ejercen una fuerza de deslizamiento a medida que

tratan de “caminar” a lo largo de él.

Los dobletes se mantienen unidos entre sí por medio de entrecruzamientos (que no se muestran en la ilustración); si no se les mantuviera en su lugar, esta acción de caminar haría que un doblete resbalaria a lo largo del otro. En cambio, los microtúbulos y en consecuencia todo el flagelo o el cilio, se doblan.

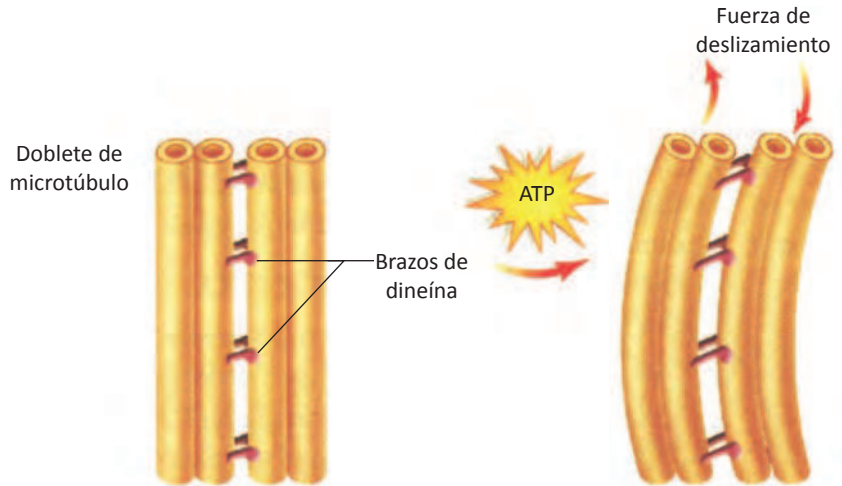


Figura 3.11 El mecanismo de curvatura de microtúbulos en cilios y flagelos. Los brazos de la proteína dineína, impulsados por la energía del ATP, mueven a los dobletes de microtúbulos vecinos uno en relación con el otro. Por estar anclados dentro del apéndice, los dobletes se doblan en lugar de resbalar uno respecto del otro.

Centríolos

Son cilindros huecos cortos formados por tripletes de microtúbulos con una disposición o acomodo **9 + 0**, es decir un anillo que tiene nueve grupos (juegos) de tripletes sin nada en el centro. Los centriolos tienen una estructura idéntica a los cuerpos basales anteriormente estudiados.

Las células animales y la mayoría de las células protistas contienen un **centrosoma** constituido por dos centriolos, acomodados perpendicularmente uno del otro.

Un centrosoma, es el principal centro organizador de microtúbulos de la célula.

Antes de dividirse una célula animal, los centriolos se replican y durante la división celular, se separan. Su función es organizar el huso mitótico. Cada nueva célula tiene su par de centriolos.

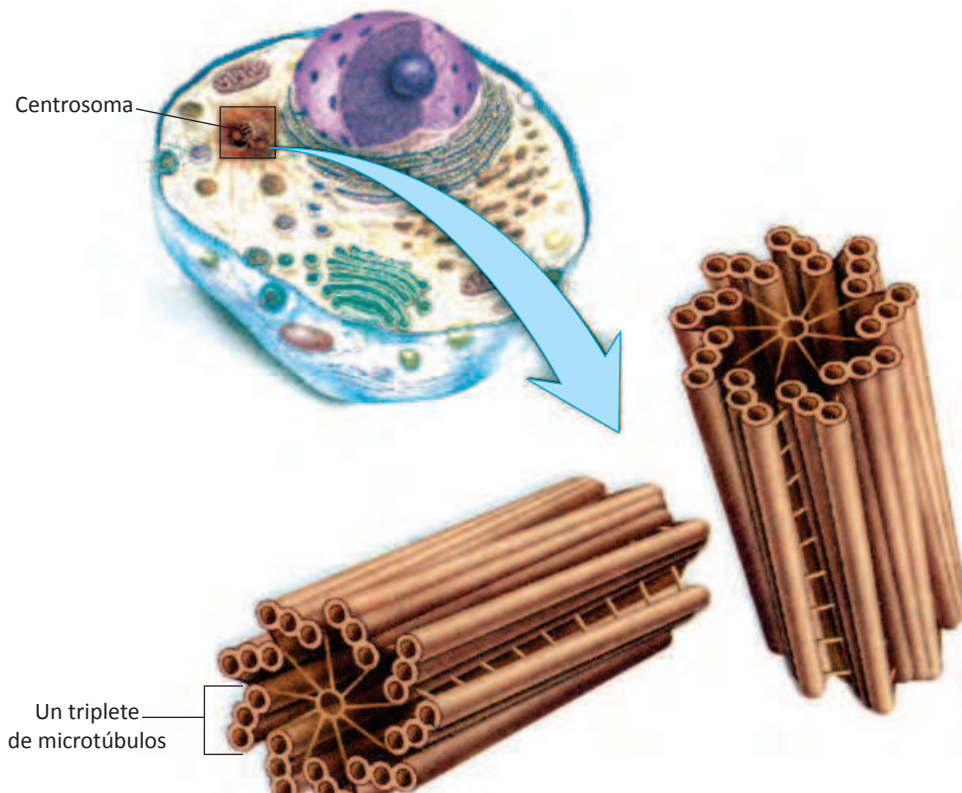


Figura 3.12 Los centriolos se localizan cerca del núcleo, acomodados perpendicularmente entre sí, constituyendo un centrosoma.

Las células de plantas y hongos tienen el equivalente de un centrosoma, pero esta estructura no contiene centríolos, por lo que se sugiere que los centríolos no son necesarios para la formación del huso mitótico.

En células que tienen cilios y flagelos, se supone que los centríolos dan origen a los cuerpos basales que dirigen la organización de los microtúbulos dentro de estas estructuras. En otras palabras, el cuerpo basal puede hacer por un cilio, lo que el centrosoma hace por la célula.

Vacuolas

Las **vacuolas** son sacos grandes aislados rodeados de membrana. La membrana de la vacuola es parte del sistema endomembranoso y se le da el nombre de tonoplasto y se le da el nombre de tonoplasto. El término vacuola significa “vacío”, es decir, estos organelos no tienen estructura interna. Presentan formas y tamaños diferentes y desempeñan una gran variedad de funciones.

Algunos biólogos utilizan el término vacuola y vesícula indistintamente, pero las vacuolas normalmente son estructuras más grandes, a veces producidas por la fusión de muchas vesículas.

Las vacuolas tienen una función importante en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Las células vegetales inmaduras generalmente son pequeñas y contienen muchas vacuolas pequeñas. El agua entra a la vacuola central mediante el proceso de osmosis. A medida que el agua se acumula en estas vacuolas, tienden a fusionarse formando una gran **vacuola central**. La célula vegetal aumenta su tamaño principalmente añadiendo agua a su vacuola central. Hasta el 90% del volumen de una célula vegetal puede estar ocupado por una gran vacuola central llena de agua, así como alimento almacenado, sales, pigmentos y restos metabólicos. La vacuola puede servir para compartimiento de almacenamiento de compuestos inorgánicos. En las semillas, las vacuolas almacenan proteínas.

Puesto que la vacuola contiene una alta concentración de solutos (materiales disueltos), capta agua y empuja hacia afuera la pared celular. Esta presión hidrostática, denominada **presión de turgencia**, proporciona mucha de la resistencia mecánica de las células vegetales. Esto permite que las hojas, flores y tallos tiernos de los vegetales se mantengan turgentes, es decir, que no se marchiten. Cuando la vacuola central pierde agua se encoge provocando que la planta se marchite. Esto es debido a que la vacuola central ya no ejerce presión sobre la pared celular. A este fenómeno se le conoce como **plasmólisis**.

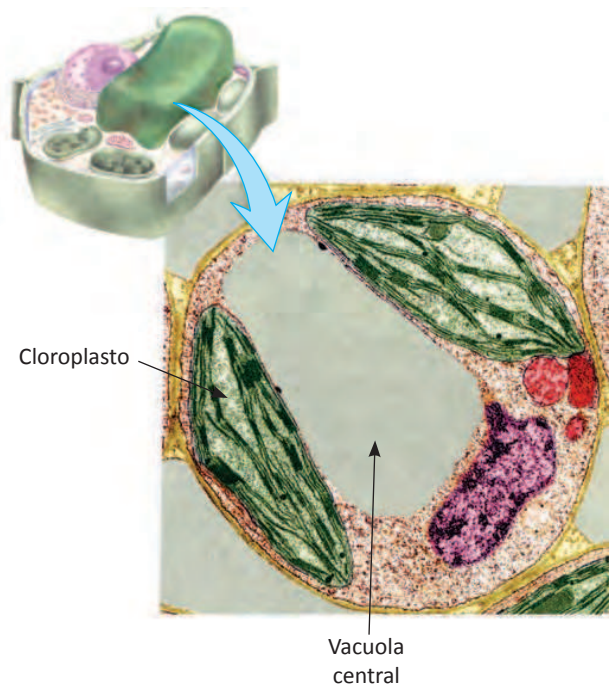


Figura 3.13 Vacuola central de las células vegetales. Una de sus funciones es almacenar moléculas para ayudar al incremento del tamaño celular.

La vacuola es muy importante para el mantenimiento de la homeostasis. Por ejemplo, ayuda a mantener el pH adecuado captando el exceso de iones hidrógeno.

Las plantas carecen de órganos para la eliminación de residuos metabólicos tóxicos. Las vacuolas vegetales se asemejan a los lisosomas respecto al contenido de enzimas hidrolíticas y residuos degradados, así como organelos innecesarios y otros componentes celulares.

Los residuos se pueden reciclar en la vacuola o pueden agregarse y formar pequeños cristales dentro de ella. También algunas vacuolas vegetales pueden almacenar compuestos tóxicos para los animales herbívoros, como medio de defensa.

Las vacuolas centrales en los pétalos de las flores pueden contener pigmentos que atraen a los insectos polinizadores. Algunas hojas de las plantas poseen vacuolas centrales que contienen pigmentos. Las algas y los hongos también presentan vacuolas grandes.

La mayoría de los protozoarios poseen **vacuolas alimenticias** que se forman cuando se lleva a cabo la endocitosis. Las vacuolas alimenticias se fusionan con los lisosomas para digerir el alimento (ver el tema de lisosomas).

Las **vacuolas contráctiles**, son semejantes al eje de una rueda con radios centrales. El eje se llama **depósito central** y los radios son denominados **conductos colectores**. La osmosis provoca que entre constantemente el agua a la célula, los conductos colectores captan el exceso de agua y la vacían en el depósito central de la vacuola contráctil. El depósito central se contrae para eliminar el exceso de agua hacia el exterior a través del poro.

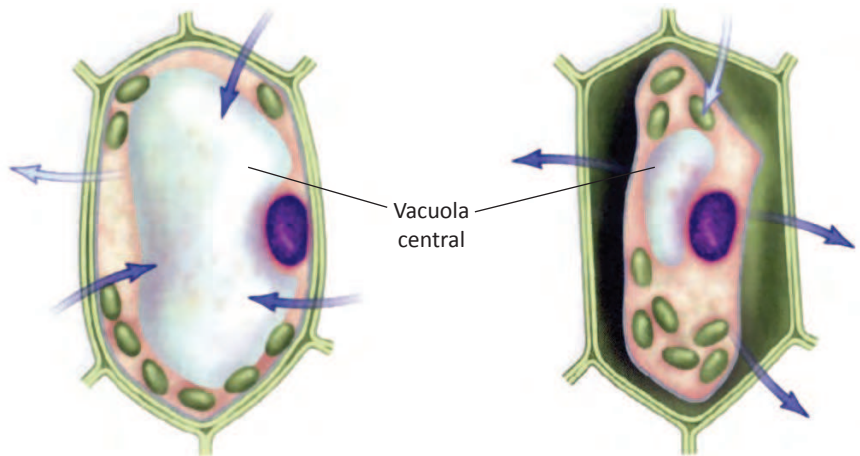


Figura 3.14 La vacuola del lado izquierdo ejerce presión contra la pared celular, mientras que la del lado derecho, está encogida por lo que ya no puede ejercer presión sobre la pared celular.



Figura 3.15 Este protista, *Chilodonella* ha ingerido muchas diatomeas (áreas oscuras) que se han encerrado en vacuolas alimenticias.

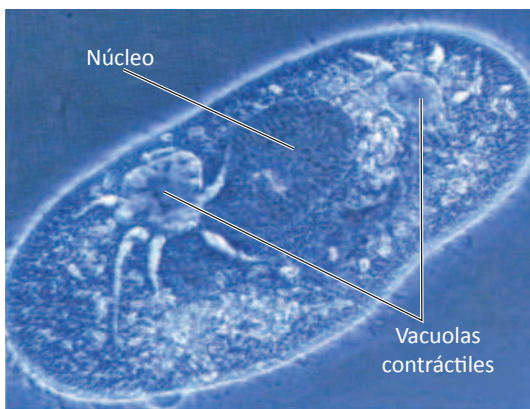


Figura 3.16 En esta micrografía óptica, se observan dos vacuolas contráctiles que sirven para expulsar el exceso de agua de este protista, *Paramecium*.

Los “radios” colectan el exceso de agua de la célula, y el eje central la expulsa hacia el exterior. Esta función es muy importante para los protistas de agua dulce, debido a que están constantemente incorporando agua del ambiente. Si no pudieran liberarse del exceso de agua, su fluido celular se volvería demasiado diluido y la célula se hincharía y explotaría. Por esta razón, la vacuola contráctil es vital en el mantenimiento del medio interno celular.

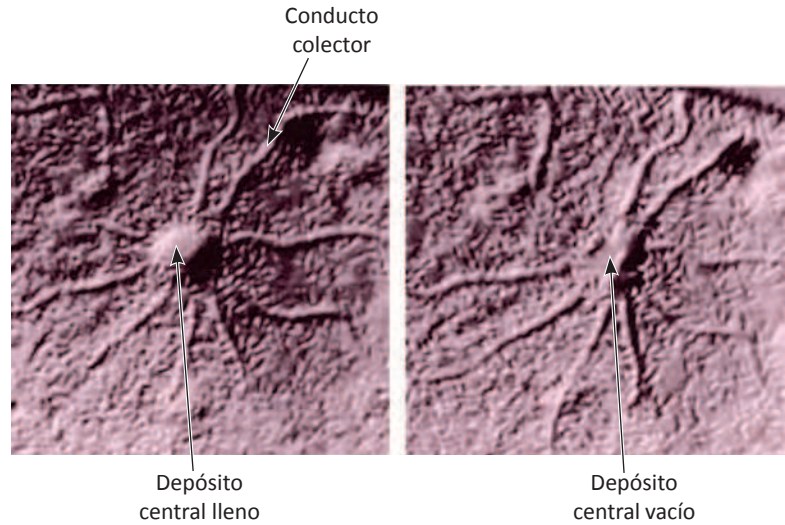


Figura 3.17 Micrografía donde se puede comparar una vacuola contráctil llena de agua y otra que ya eliminó agua.

Lisosomas

Los **lisosomas** son pequeños sacos membranosos que contienen enzimas digestivas responsables de degradar ciertos compuestos que se han tornado obsoletos para la célula o el organismo.

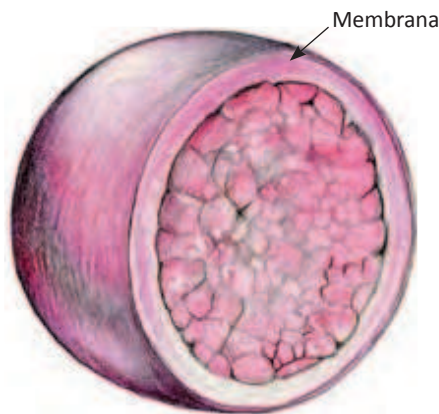


Figura 3.18 Dibujo de un corte transversal de un lisosoma, saco membranosos que contiene enzimas digestivas.

Los lisosomas se encuentran dispersos en el citoplasma de la mayoría de las células animales. Siendo exclusivos de estas células. Estos organelos varían en tamaño y forma, y pueden hallarse varios cientos en una célula animal. El nombre lisosoma deriva de dos palabras griegas *lyo* y *soma* que significan “cuerpo de ruptura”.

Las potentes enzimas de los lisosomas son conocidas colectivamente como **hidrolasas ácidas**. Estas enzimas se sintetizan en los ribosomas unidos al RE y actúan dentro de los lisosomas hidrolizando o degradando las macromoléculas (proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos y lípidos).

Dentro de los lisosomas normales y funcionales se han identificado más de 40 hidrolasas ácidas diferentes. Todas estas enzimas tienen su punto óptimo de acción en condiciones ácidas; los lisosomas mantienen un pH de aproximadamente 5 en su interior. Las enzimas lisosomales degradan moléculas complejas de bacterias y restos celulares ingeridos por medio de fagocitosis. Las potentes enzimas y el bajo pH que mantiene el lisosoma proporcionan un excelente ejemplo de la importancia de la separación de funciones dentro de la célula en diferentes compartimientos. La membrana del lisosoma mantiene estas enzimas destructivas fuera del citosol. Sin embargo, algunas formas de daño tisular están relacionadas con “fugas” de los lisosomas.

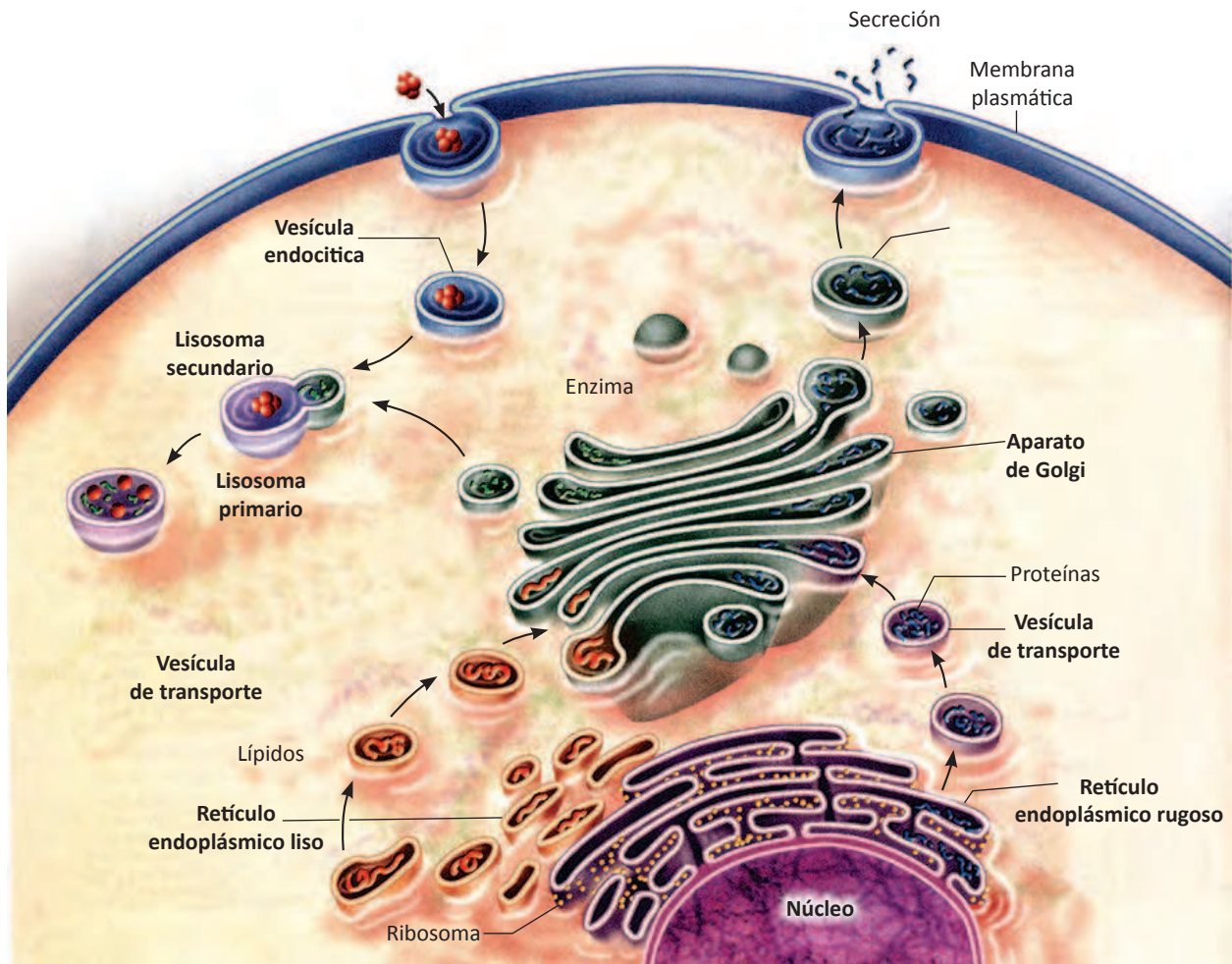


Figura 3.19 Dibujo donde se observa como el lisosoma se desprende del aparato de Golgi y se fusiona a la vesícula que contiene las sustancias que van a ser digeridas por las enzimas hidrolíticas que contiene el lisosoma.

Sin lisosomas, una célula no podría tener enzimas hidrolíticas activas pues se digeriría a sí misma.

La membrana del lisosoma contiene proteínas de transporte que permiten que los productos finales de la digestión de las macromoléculas como los aminoácidos, los azúcares y los nucleótidos, sean transferidos hacia el citosol, desde donde la célula pueda excretarlos o utilizarlos

Los **lisosomas primarios** se forman mediante la gemación a partir del aparato de Golgi. Sus enzimas hidrolíticas se sintetizan en el retículo endoplásmico rugoso (RER). A medida que estas enzimas pasan por la luz del RER, se agregan azúcares a cada molécula, identificándola como unidad para un lisosoma. Esta señal permite al aparato de Golgi clasificar la enzima para enviarla a los lisosomas en lugar de ser exportada al exterior de la célula.

Las bacterias (o los restos celulares) ingeridos por medio de fagocitosis son incluidas en una vesícula formada a partir de la membrana plasmática. Uno o más lisosomas primarios se fusionan con la vesícula que contiene el material ingerido formando una vesícula más grande denominada **lisosoma secundario**. Las potentes enzimas del lisosoma secundario entran en contacto con las moléculas ingeridas y las degradan en sus componentes.

Los lisosomas ayudan también a **destruir las bacterias** perjudiciales, para esto, los leucocitos ingieren a las bacterias dentro de vacuolas y las enzimas lisosomales que se vacían dentro de esas vacuolas rompen las paredes celulares bacterianas.

Los lisosomas participan en la **degradación de los organelos** que han perdido su utilidad (defectuosos, dañados o viejos). El proceso por el cual un organelo envejecido es degradado en un lisosoma es llamado *autofagia* que significa “comerse a uno mismo”.

Los lisosomas son los responsables de eliminar la “basura” que podría acumularse hasta alcanzar una concentración tóxica.

Los lisosomas participan en la **destrucción de células muertas**, vaciando sus enzimas sobre ellas. Las moléculas resultantes de estas reacciones hidrolíticas son reutilizadas como materia prima por las demás células.

El lisosoma llamado **acrosoma** que se encuentra en la parte superior de la cabeza del espermatozoide humano, degrada las moléculas de la cubierta del ovocito y de esta manera se realiza la fecundación.

Los lisosomas también participan en la **apoptosis**, proceso de muerte celular programada o suicidio celular controlado genéticamente.

La apoptosis es una parte normal del desarrollo y mantenimiento de un organismo. Durante la apoptosis, la membrana plasmática tiene aspecto de burbujas las cuales se desprenden y reciben el nombre de cuerpos apoptóticos que son fagocitados.



Figura 3.20 El dibujo de arriba muestra el acrosoma localizado en la parte superior de la cabeza del espermatozoide. La micrografía de abajo, ilustra cuando el acrosoma vacía sus enzimas lisosomales sobre la cubierta del ovocito secundario, para que se realice la fecundación.

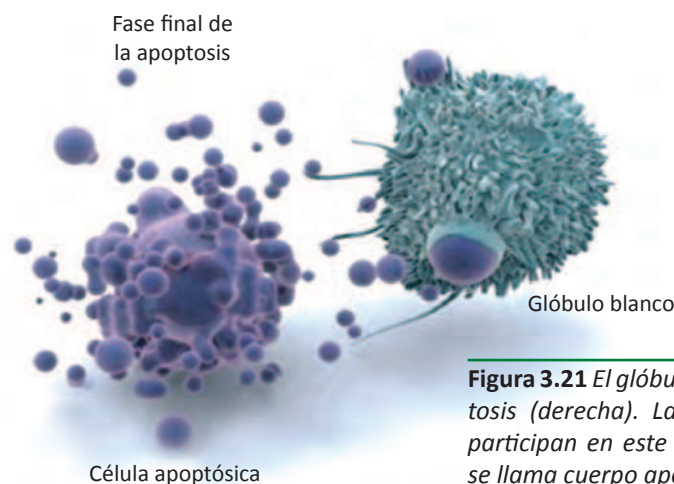


Figura 3.21 El glóbulo blanco inicia la apoptosis (derecha). Las enzimas lisosomales participan en este proceso. Cada burbuja se llama cuerpo apoptótico (izquierda).

La apoptosis juega un papel importantísimo para el desarrollo embrionario de todos los tejidos y órganos, por ejemplo, las enzimas lisosomales destruyen las células de las membranas que unen a los dedos en los embriones humanos en los estadios tempranos del desarrollo, es decir, el tejido entre los dedos se destruye mediante apoptosis.

La muerte celular también se produce en el adulto. Las células de la capa superior de la piel humana y de la pared intestinal se están destruyendo continuamente y sustituyéndose por células nuevas. Otro ejemplo muy conocido se presenta durante la metamorfosis del renacuajo a rana, donde las células de la cola del renacuajo tienen que morir.

Diversos padecimientos humanos, son conocidos como enfermedades por almacenamiento lisosómico. Tales enfermedades se deben a hidrolasas ácidas defectuosas, lo que da lugar a la acumulación de sus sustratos. La **enfermedad infantil de Tay-Sachs**, se debe a

que los lisosomas no cumplen su función porque carecen de una enzima digestiva de lípidos y las células nerviosas en el cerebro se dañan a medida que se acumula el exceso de lípidos. Los niños afectados suelen ser dementes y ciegos a los dos años de edad y morir antes de cumplir los 3 años. Las células nerviosas de estos niños, se agrandan enormemente con los lisosomas dilatados llenos de lípidos.



Figura 3.22 Durante las fases tempranas del desarrollo embrionario, las enzimas lisosomales destruyen las células de las membranas que unen a los dedos en los embriones humanos.

AUTOEVALUACIÓN

Repaso de la unidad

Contesta lo que se te pide

1. ¿Qué componente del citoesqueleto es el más importante en mantener el núcleo en su lugar dentro de la célula?

2. ¿Qué componente del citoesqueleto es encargado de guiar a las vesículas de transporte desde el aparato de Golgi hasta la membrana plasmática?

3. ¿Qué componente del citoesqueleto tiene como función contraer las células musculares?

4. Explica la importancia del citoesqueleto.

5. Explica las diferencias entre cilios y flagelos.

6. Explica la diferencia que se presenta en la estructura de un flagelo y un cuerpo basal.

7. Explica el mecanismo de acción de un lisosoma.

8. Menciona las funciones de los lisosomas.

9. Menciona un padecimiento debido a que los lisosomas no tienen alguna enzima digestiva y por lo tanto no realizan su función, degradativa.

10. Explica las diferencias que existen entre vacuola central, vacuola alimenticia y vacuola contráctil.

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f)

1. Los microfilamentos son componentes de menor diámetro del citoesqueleto. ()
2. La presencia de filamentos de tubulina en la membrana celular favorece la formación de pseudópodos. ()
3. Las proteínas asociadas a los microtúbulos utilizan energía del ATP para producir movimiento. ()
4. Los cilios son más largos que los flagelos. ()
5. El cuerpo basal tiene un arreglo circular de 9 tripletes de microtúbulos (9+0). ()
6. Durante la división celular, los centríolos se separan y organizan el huso mitótico. ()
7. La vacuola central mantiene la presión de turgencia en la célula vegetal. ()
8. Los lisosomas contienen potentes enzimas conocidas como hidrolasas ácidas. ()
9. Los protistas de agua salada poseen vacuolas contráctiles. ()
10. Todos los organelos celulares flotan libremente en el citosol. ()

Selecciona la opción correcta

1. Son centros de reciclaje de organelos:
 - a. Vacuolas contráctiles
 - b. Lisosomas
 - c. Cuerpos basales
 - d. Vacuolas centrales
 - e. a y d son correctas

2. Es la solución semilíquida del citoplasma:
 - a. Citosol
 - b. Centrosoma
 - c. Centríolo
 - d. Citoesqueleto
 - e. Ninguna es correcta

3. Organelo exclusivo de células vegetales:
 - a. Vacuola contráctil
 - b. Vacuola alimenticia
 - c. Vacuola central
 - d. Lisosomas
 - e. Ninguna es correcta

4. Son componentes del citoplasma:
 - a. Núcleo
 - b. Nucléolos
 - c. Citosol
 - d. Citoesqueleto
 - e. c y d son correctas

5. Componentes del citoesqueleto que provocan corrientes citoplasmáticas que a su vez provocan el movimiento circular de los cloroplastos
 - a. Filamentos de actina
 - b. Filamentos intermedios
 - c. Microtúbulos
 - d. Microfilamentos
 - e. a y d son correctas

6. Se forman por la adición de dímeros de alfa-tubulina y beta-tubulina a un extremo del cilindro hueco
 - a. Microtúbulos
 - b. Microfilamentos
 - c. Filamentos intermedios
 - d. Filamentos de actina
 - e. b y d son correctas

7. Son funciones de los lisosomas
 - a. Destruir bacterias
 - b. Digerir nutrientes
 - c. Degradar organelos
 - d. Destruir células muertas
 - e. Todas son correctas

8. El acrosoma del espermatozoide
 - a. Es un lisosoma
 - b. Es un centrosoma
 - c. Permite que se realice la fecundación
 - d. Es un peroxisoma
 - e. a y c son correctas

9. Son sacos membranosos que se encuentran en la mayoría de las plantas, hongos y algas.

- a. Vacuolas
- b. Lisosomas
- c. Cuerpos basales
- d. Centrómeros
- e. Centrosomas

10. Una disposición 9 + 2 de microtúbulos describe mejor.

- a. Cilios
- b. Centrosomas
- c. Cuerpos basales
- d. Microfilamentos
- e. Microvellosidades

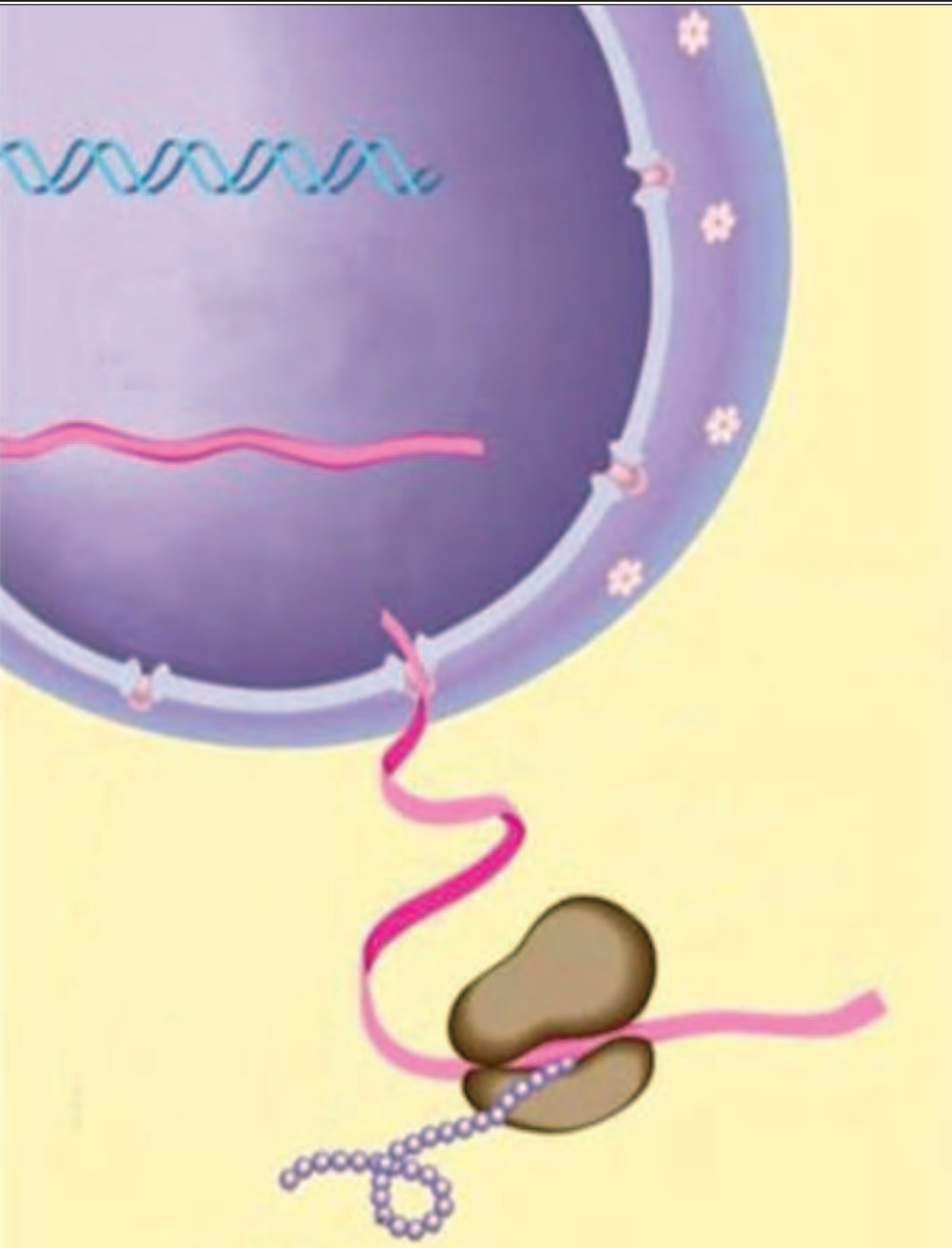
En la siguiente sopa de letras, localiza lo que se te pide:

1. Proteína que constituye a los microfilamentos del citoesqueleto.
2. Incluye citosol, citoesqueleto y todos los organelos, excepto el núcleo.
3. Permiten el movimiento amiboideo de algunos protistas y glóbulos blancos.
4. Proteínas globulares que constituyen a los microtúbulos.
5. Es el movimiento circular de los cloroplastos.
6. Son sacos grandes aislados rodeados de membrana.
7. Es el proceso de muerte celular programada.

A	T	R	I	N	O	M	I	C	E	C
C	I	T	O	P	L	A	S	M	A	I
T	U	B	U	L	I	N	A	D	O	C
I	G	N	O	R	A	N	C	I	A	L
N	A	T	I	L	L	A	S	A	B	O
A	P	O	P	T	O	S	I	S	U	S
S	V	A	C	U	O	L	A	S	O	I
P	S	E	U	D	O	P	O	D	O	S

UNIDAD 4

SÍNTESIS CELULAR



Ribosomas

Los ribosomas son la maquinaria celular dónde se sintetizan las proteínas. Un ribosoma es un gran complejo macromolecular compuesto por más de 50 proteínas diferentes (proteínas ribosómicas) y varias moléculas de ARN denominadas ARN ribosómicos (ARNr).

Los ribosomas miden entre 15 y 30 nanómetros de diámetro, por lo que sólo son visibles con el microscopio electrónico. Con este instrumento se observan como pequeñas partículas. Una célula viva típica contiene millones de ribosomas en su citoplasma.

Los ribosomas son sintetizados en los nucléolos y se pueden encontrar libres en el citoplasma o adheridos a las membranas del retículo endoplásmico, al que le dan una apariencia rugosa. Los ribosomas que se encuentran en la superficie externa del retículo endoplásmico rugoso se conocen como **ribosomas adheridos**; los **ribosomas libres** están suspendidos en el citosol.

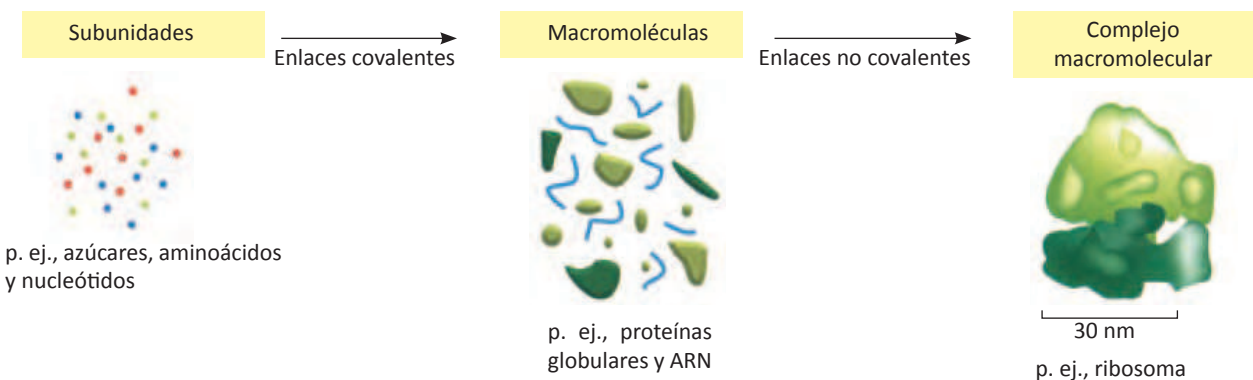


Figura 4.1 Formación de un complejo macromolecular como son los ribosomas. Las moléculas pequeñas se unen para formar macromoléculas, que a su vez se pueden ensamblar en grandes complejos macromoleculares.

Los ribosomas poseen las enzimas (proteínas) necesarias para unir a dos aminoácidos mediante enlaces peptídicos. Cuando se unen sus dos subunidades, **sintetizan a las proteínas**, por ésta razón, los ribosomas son considerados las “fábricas de proteínas” celulares.

Los ribosomas de eucariones y procariontes son muy similares en su estructura y función. Ambos están formados por una subunidad grande (50S) y una pequeña (30S)

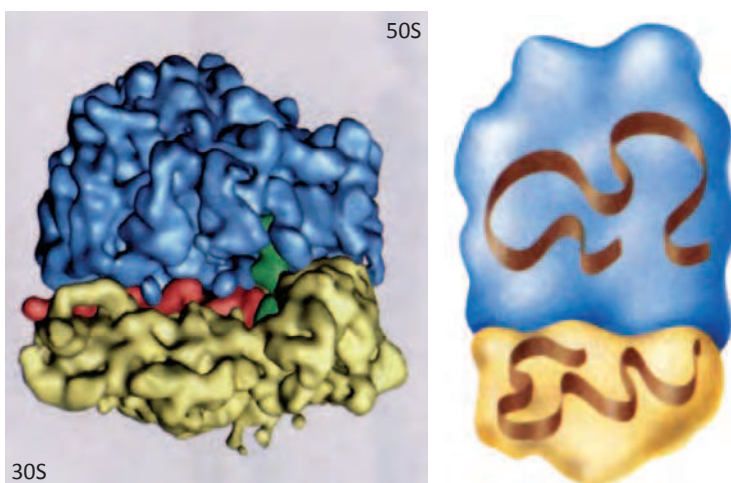


Figura 4.2 A la izquierda, se muestra el modelo detallado de un ribosoma. Para producir este modelo, se analizaron los datos proporcionados por más de 73,000 micrografías electrónicas tomadas a temperaturas ultra frías para preservar la estructura del ribosoma. A la derecha, modelo sencillo del ribosoma, que será utilizado en esta unidad.

que se ensamblan y forman un ribosoma completo. Los ribosomas se ensamblan cuando se necesitan para la traducción (síntesis de las proteínas) del ARN mensajero y se desarman una vez completada dicha traducción.

Los ribosomas de las células procariontes son más pequeños que los de las células eucariontes.

Las células que sintetizan (producen) activamente una gran cantidad de proteínas contienen millones de ribosomas y pueden cambiar el número de ribosomas presente, para cumplir sus necesidades metabólicas.

Síntesis de proteínas

Un gen no construye directamente las proteínas, sino que envía instrucciones en la forma de ARNm, el cual a su vez, programa la síntesis de proteínas.

La subunidad pequeña hace coincidir los ARNt con las cadenas del ARNm, mientras que la subunidad grande cataliza la formación de enlaces peptídicos que unen a los aminoácidos entre sí y forman una cadena polipeptídica.

Las dos subunidades se reúnen sobre una molécula de ARNm, e inician la síntesis de una proteína. Luego, el ARNm es recorrido por el ribosoma como un largo trozo de cinta. A medida que esto sucede, el ribosoma traduce la secuencia de nucleótidos a una secuencia de aminoácidos que constituirán a la proteína. Por último, las dos subunidades del ribosoma se separan cuando la síntesis de la proteína ha finalizado. Los ribosomas son muy eficientes; un ribosoma de una célula eucarionte agrega alrededor de 2 aminoácidos por segundo a una cadena polipeptídica; los ribosomas bacterianos funcionan aun más rápido, a un promedio de 20 aminoácidos por segundo.

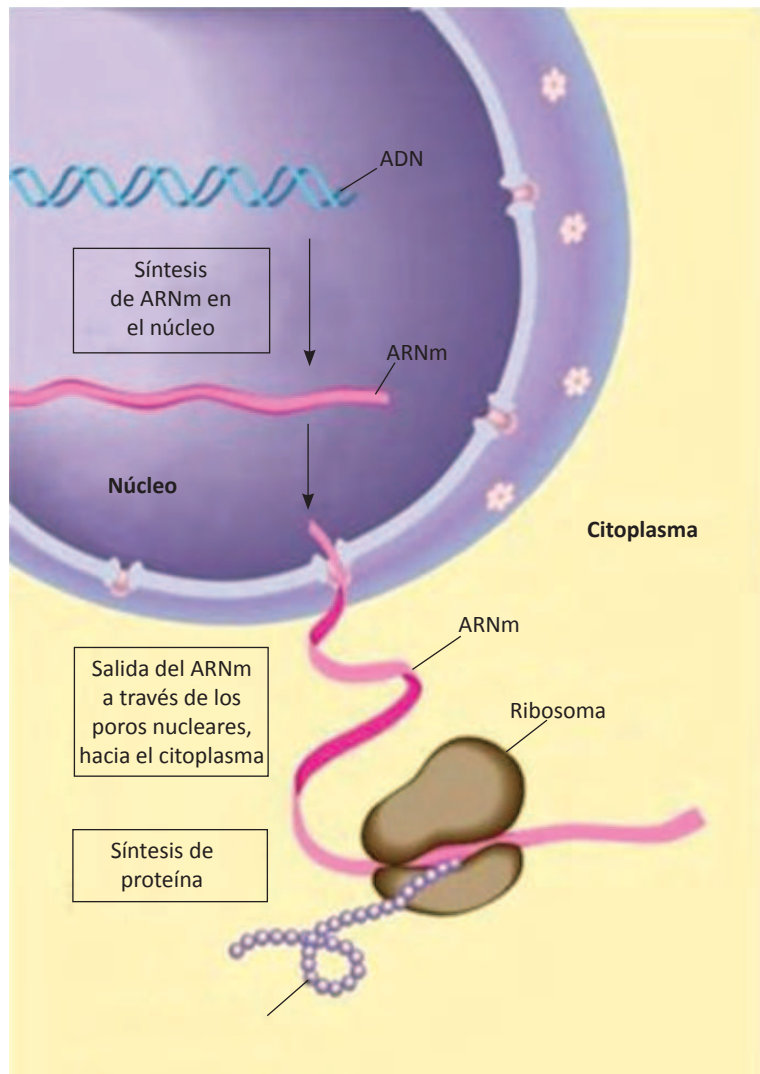
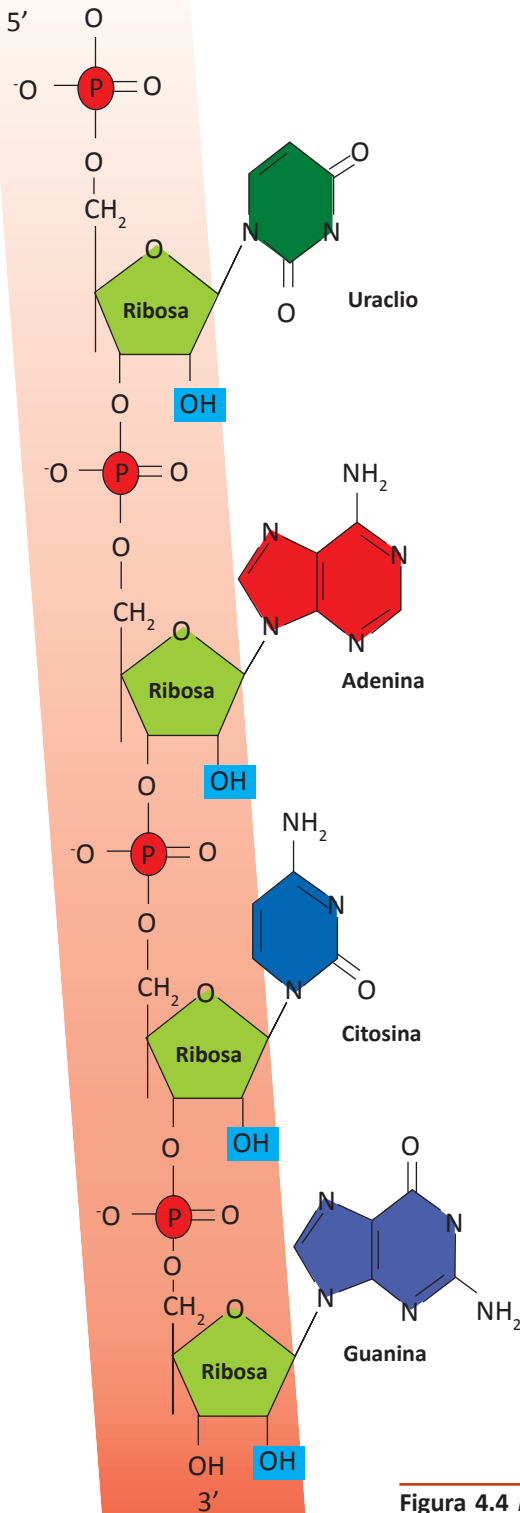


Figura 4.3 Visión general de la síntesis de proteínas. La información genética (órdenes) fluye desde el ADN en el núcleo de la célula (área en morado) al ARNm, que sale por los poros de la membrana nuclear hacia el citoplasma, donde se une al ribosoma para que se lleve a cabo la síntesis de proteínas.



La síntesis de proteínas se lleva a cabo mediante dos procesos: la **transcripción** y la **traducción**.

En células eucarióticas, la transcripción ocurre en el núcleo celular y la traducción en el citoplasma debido a que ahí se localizan los ribosomas.

Transcripción

La **transcripción** es la síntesis de ARNm en el núcleo celular. En este proceso, la secuencia de bases de la cadena de ARN se determina por el emparejamiento complementario de bases con una de las cadenas de ADN, la **cadena codificante (molde o patrón)**. El proceso por medio del cual se sintetiza ARN se parece a la replicación del ADN, con la diferencia de que se formará una cadena sencilla de ARN que contiene uracilo en lugar de la timina del ADN. Se llama transcripción porque para que se forme la cadena de ARN es necesario tomar la información contenida en otro ácido nucleico, el ADN, es decir, la información guardada en la molécula de ADN se transcribe para formar ARNm.

Para que se lleve a cabo la transcripción es necesario que se rompan los puentes de hidrógeno que unen las bases nitrogenadas del ADN y sobre una de las cadenas de este (cadena molde) se complementan la timina del ADN con la adenina del ARN, la guanina del ADN con la citosina del ARN, la adenina del ADN con el uracilo del ARN. Una vez transcrita la información, el ARNm sale del núcleo y las dos cadenas de ADN se vuelven a unir por medio de puentes de hidrógeno.

Una célula que está lista para pasar su información genética traducida a polipéptidos, tiene un suministro de aminoácidos en su citoplasma, los cuales han sido obtenidos del alimento o sintetizados. Cada aminoácido tiene una abreviatura (tabla 4.1).

Figura 4.4 Estructura nucleotídica de ARN. Los nucleótidos de ARN están unidos por enlaces fosfodiéster 5'→3' como se encuentran en el ADN. La adenina, guanina y citosina se encuentran en el ARN al igual que en el ADN, pero la base uracilo sustituye a la timina. El azúcar es la ribosa.

Recuerda que los aminoácidos son los monómeros de las proteínas. Cada aminoácido posee un grupo amino (-NH₂) en un extremo y un grupo carboxilo (-COOH) en el otro. En la naturaleza existen 20 aminoácidos y todos son idénticos en las regiones donde pueden unirse mediante enlaces covalentes. Esta uniformidad permite que cualquier aminoácido se una con cualquier otro aminoácido, mediante un enlace entre un grupo amino y un grupo carboxilo. Lo que distingue a un aminoácido de los demás, es el grupo (radical) alquilo.

La célula, además de poseer el suministro de **aminoácidos**, debe poseer **enzimas** para enlazar los aminoácidos al ARNt y **ATP** que proporcione la energía. Lógicamente también requiere de los ribosomas, conocidos como las fábricas de proteínas.

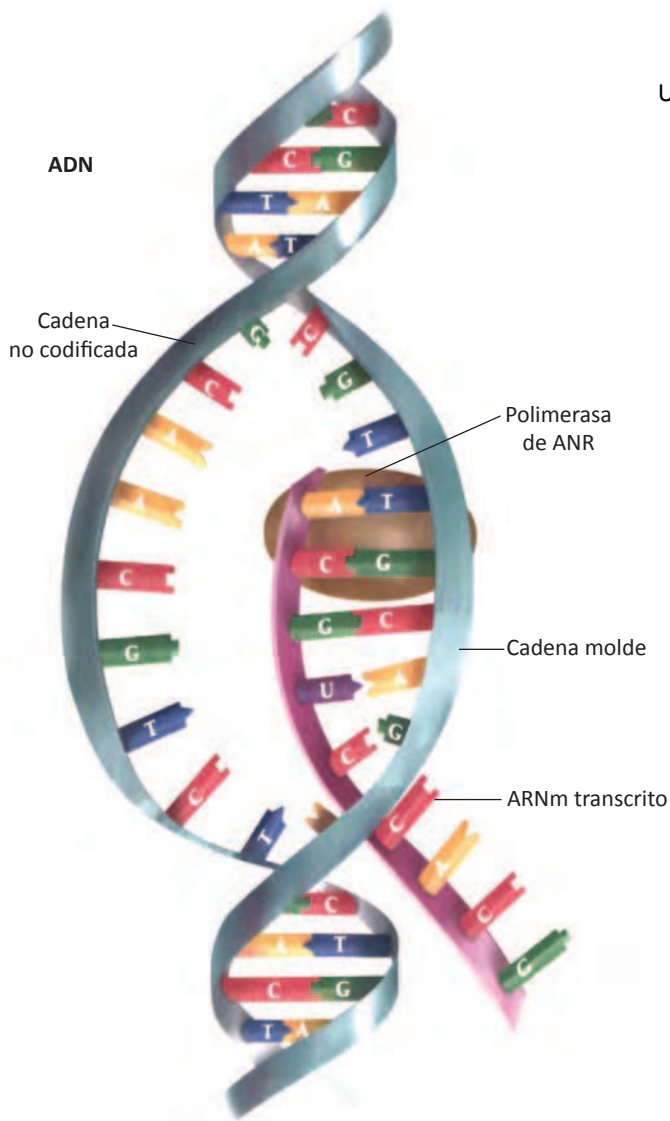
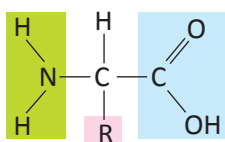


Figura 4.5 La transcripción se realiza en el núcleo celular. Este proceso es catalizado por las enzimas polimerasas de ARN. Las bases nitrogenadas se complementan de la siguiente manera: la timina del ADN con la adenina del ARN, la guanina del ADN con la citocina del ARN, la adenina del ADN con el uracilo del ARN.



Estructura general del aminoácido

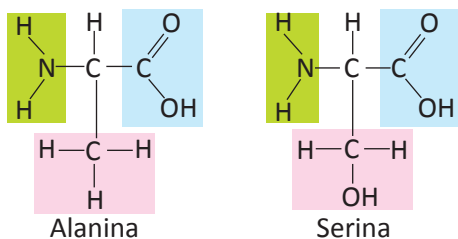


Figura 4.6 Arriba se muestra la estructura general de un aminoácido, el cual posee el grupo amino, el grupo ácido carboxílico, un hidrógeno y un radical alquilo, todos unidos a un carbono. Abajo, la estructura de dos aminoácidos.

Tabla 4.1 Abreviaturas de los aminoácidos.	
Phe = fenilalanina	His = histidina
Leu = leucina	Gln = glutamina
Ile = isoleucina	Asn = asparagina
Met = metionina	Lys = lisina
Val = valina	Asp = ácido aspártico
Ser = serina	Glu = ácido glutámico
Pro = prolina	Cys = cisteína
Thr = treonina	Trp = triptófano
Ala = alanina	Arg = arginina
Tyr = tirosina	Gly = glicina

Los aminoácidos por sí mismos no pueden reconocer los codones del ARNm, por esta razón el ARNt recolecta los aminoácidos adecuados y reconoce los codones correctos en el ARNm.

Se conocen tres tipos principales de ARN: ARN mensajero, ARN de transferencia y ARN ribosómico.

El **ARN mensajero (ARNm)** es una cadena sencilla de polinucleótidos de ARN que contiene la información para producir una proteína, es sintetizado a partir de la cadena molde del ADN, en el núcleo celular, mediante el proceso conocido como transcripción.

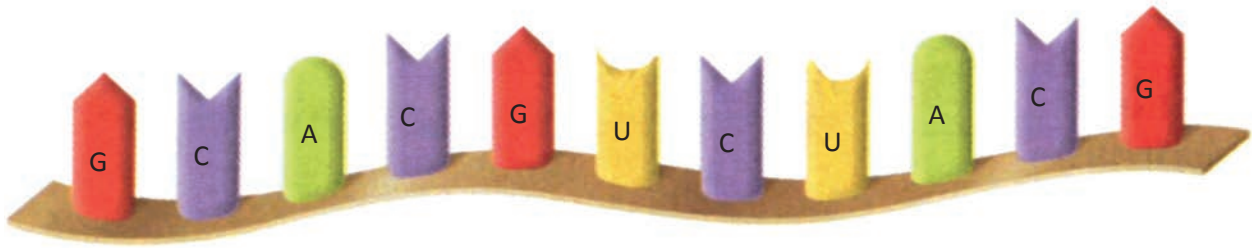


Figura 4.7 Dibujo del ARNm.

El **ARN de transferencia (ARNt)** consiste en una cadena sencilla de polinucleótidos de ARN (cerca de 80 nucleótidos), que se pliega sobre sí misma adquiriendo una forma específica. El ARNt posee un triplete especial de bases que se llama **anticodón**

el cual es complementario al **codón** del ARNm, que también es un triplete de bases.

Existen más de 45 tipos de ARNt y cada tipo une un único aminoácido y lo transporta al ribosoma. Debido a que existen más tipos de moléculas de ARNt que de moléculas de aminoácidos (20 tipos), muchos aminoácidos son transportados por dos o más tipos de moléculas de ARNt.

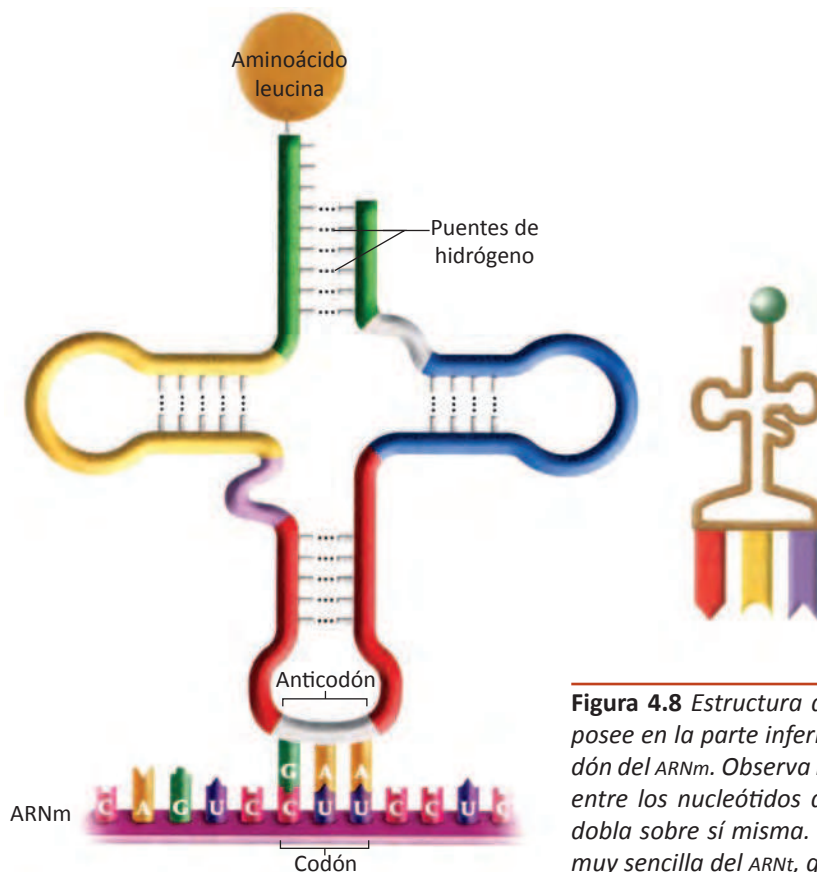


Figura 4.8 Estructura de una molécula de ARNt. Esta molécula posee en la parte inferior el anticodón que ensambla con el codón del ARNm. Observa los puentes de hidrógenos que se forman entre los nucleótidos de la molécula cuando esta se tuerce o dobla sobre sí misma. A la derecha se muestra una estructura muy sencilla del ARNt, que se utilizará en esta unidad.

El **ARN ribosómico (ARNr)**, es una cadena de polinucleótidos, que adquiere una forma globular, se combina con proteínas para formar ribosomas y realiza funciones catalíticas que son necesarias durante la síntesis de proteínas.

Recuerda que una **cadena polipeptídica** está formada por la unión de aminoácidos mediante enlaces peptídicos. Cuando esta cadena desempeña una función se llama **proteína**.

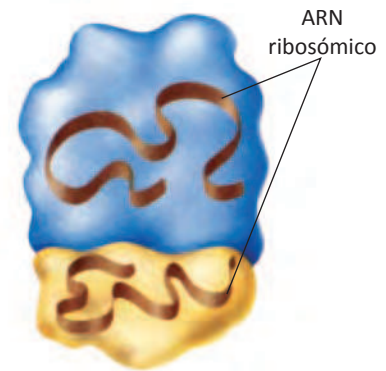


Figura 4.9 Dibujo del ARN ribosómico.

Traducción

La traducción se realiza una vez que el ARNm sale del núcleo y entra al citoplasma.

La información transcrita en el ARNm se utiliza para especificar la secuencia de aminoácidos de un polipéptido. Este proceso se denomina **traducción** porque implica la conversión del “lenguaje nucleotídico” de la molécula de ARNm al “lenguaje aminoacídico” de las proteínas. La traducción es el proceso por medio del cual el ARNm se traduce para formar una proteína.

En la traducción de las instrucciones genéticas para formar polipéptidos, una secuencia de tres bases nitrogenadas consecutivas de ARNm, llamada **codón**, especifica el aminoácido que debe añadirse al polipéptido.

Como cada codón consiste en tres nucleótidos, el código se describe como un **código de tripletes**. Las correspondencias entre codones y aminoácidos y señales de inicio y alto se denominan conjuntamente **código genético**, es decir, es el lenguaje del ARNm. El código está escrito con solo cuatro letras (A, U, C, G), que son las bases nitrogenadas del ARN y con ellas transmite instrucciones para 20 aminoácidos distintos. El código se lee considerando tres letras o tripletes o codones.

		Segunda letra						
		U	C	A	G			
U	UUU	Phe	UCU		UAU	Tyr	UGU	Cys
	UUC		UCC	Ser	UAC		UGC	
	UUA	Leu	UCA		UAA	Parada	UGA	Parada
	UUG		UCG		UAG	Parada	UGG	Trp
C	CUU		CCU		CAU	His	CGU	
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC		CGC	Arg
	CUA		CCA		CAA	Gln	CGA	
	CUG		CCG		CAG		CGG	
A	AUU		ACU		AAU	Asn	AGU	Ser
	AUC	Ile	ACC	Thr	AAC		AGC	
	AUA		ACA		AAA	Lys	AGA	Arg
	AUG	Met o inicio	ACG		AAG		AGG	
G	GUU		GCU		GAU	Asp	GGU	
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC		GGC	Gly
	GUA		GCA		GAA	Glu	GGA	
	GUG		GCG		GAG		GGG	

 = Codón de parada (alto)
 = Codón iniciador

Figura 4.10 El código genético muestra los aminoácidos que corresponden a cada uno de los 64 codones posibles.

Por ejemplo tomemos el caso de la siguiente secuencia de ARNm: AUGUUCAAA

Esta secuencia debe **leerse** tomando tres bases consecutivas (triplete): AUG --- UUC --- AAA

Los codones representan los distintos aminoácidos:

- Para el codón AUG, el aminoácido metionina.
- Para el codón UUC, el aminoácido fenilalanina.
- Para el codón AAA, el aminoácido lisina.

Como existen 4 bases nitrogenadas distintas en el ARN puede haber 64 codones ($4 \times 4 \times 4$). La figura 4.10 muestra los 64 codones posibles del código genético. Como puedes observar, algunos aminoácidos pueden especificarse con más de un codón. Por ejemplo, existen seis codones que especifican al aminoácido leucina y otros seis que especifican arginina. Además, existe un codón que puede especificar metionina o actuar como señal de **"inicio"** de la síntesis de proteínas. Observa también que existen tres codones de **"alto"** que no codifican aminoácidos. Estos codones representan el final de un polipéptido.

Los ARNt son una parte muy importante de la maquinaria decodificadora (traductora). Cada ARNt puede unir un aminoácido específico y reconocer el codón del ARNm apropiado para el aminoácido concreto. Puede reconocerlo porque contiene una secuencia de tres bases denominada anticodón que establece enlaces de hidrógeno con el codón del ARNm por emparejamiento (formando pares) complementario de bases. Los **ribosomas** son el lugar donde se realiza la traducción. Los ribosomas se unen al ARNm y se desplazan a lo largo de él.



Figura 4.11 Después de que el ARNm es transcrito en el núcleo, sale por los poros de la membrana nuclear y entra al citoplasma.

A continuación se describirá el proceso de **traducción** en tres pasos:

1. Iniciación

La traducción **inicia** cuando una molécula de ARNm se une a un ribosoma. Esta molécula es la que se formó en el núcleo celular por medio de la transcripción del ADN a ARNm y salió por los poros nucleares. Cada ARNt tiene un anticodón, cuyas bases son complementarias al codón de la hebra de ARNm. El ribosoma coloca en posición al codón de inicio para atraer al anticodón que es la parte del ARNt que liga al aminoácido metionina.

En el caso de la molécula de ARNt para metionina, las bases del anticodón son UAC, que se aparean con el codón del ARNm para el aminoácido metionina, AUG. Si el siguiente codón del ARNm es

UUC, la molécula de ARNt tiene que poseer el anticodón AAG para poder ensamblar con el codón del ARNm para el aminoácido fenilalanina, es decir el ARNt con anticodón AAG llevará el aminoácido fenilalanina al ribosoma. Una vez en el ribosoma, el aminoácido se transfiere a la creciente cadena polipeptídica.

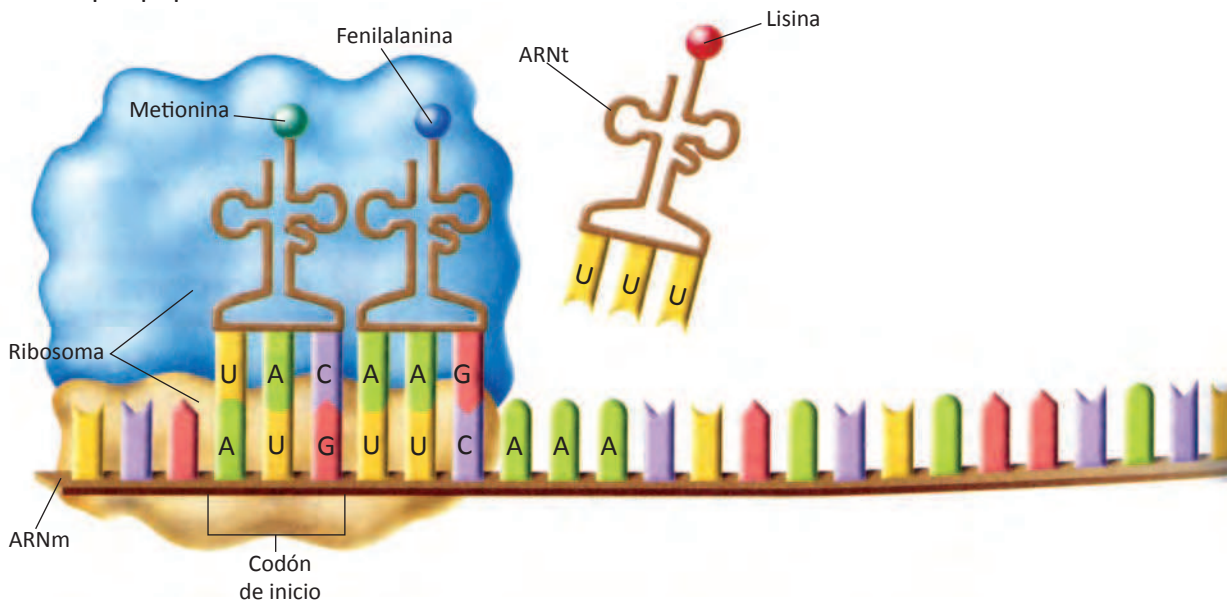


Figura 4.12 Inicio de la traducción.

2. Elongación

A la línea de ensamblaje del polipéptido se le conoce como **elongación**, es decir crecimiento de la cadena polipeptídica. El ribosoma une los dos aminoácidos metionina y fenilalanina, mediante la eliminación de una molécula de agua (deshidratación), formándose el enlace peptídico.

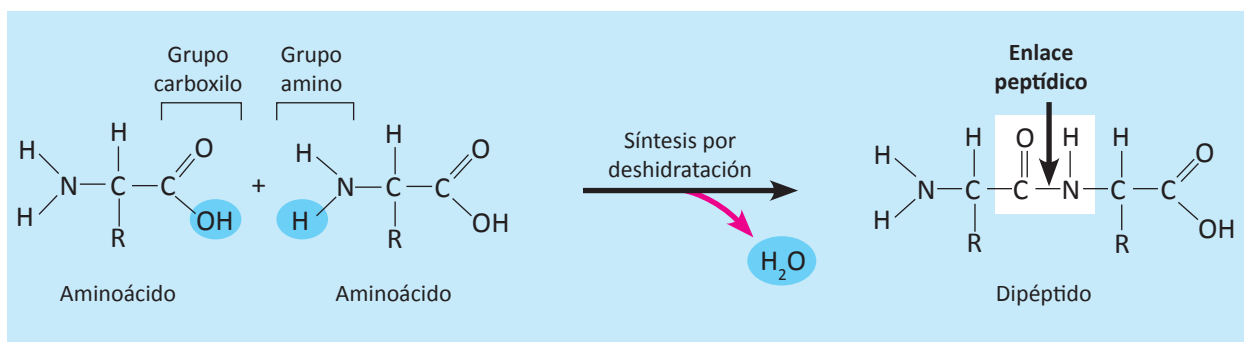


Figura 4.13 Formación del enlace peptídico entre dos aminoácidos, mediante una deshidratación.

Además, el ribosoma rompe el enlace entre la metionina y su ARNt. El ARNt se aleja flotando para permitir que el ribosoma ligue otro ARNt. El ribosoma continúa a lo largo del ARNm para

traducir al siguiente codón, AAA. El ARNt que posee el anticodón complementario, UUU transporta al aminoácido lisina que ensambla con el codón del ARNm.

3. Terminación

La cadena polipeptídica continúa creciendo hasta que el ribosoma llega a un codón de interrupción o alto (UAA o UAG o UGA) en la molécula de ARNm. Al llegar a cualquiera de estos tres codones, el ribosoma se separa en sus dos subunidades y **libera al polipéptido** recién formado y a la molécula de ARNm, terminando así el proceso de traducción.

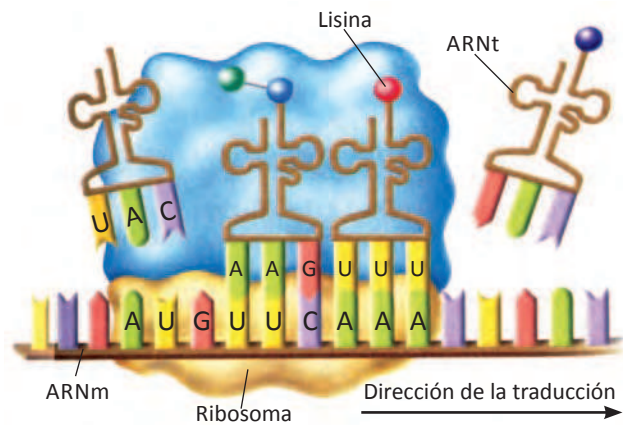


Figura 4.14 La elongación de la cadena polipeptídica. El ribosoma forma un enlace peptídico entre el primero (esfera verde) y segundo aminoácido (esfera azul), además de que rompe el enlace que mantenía unido al primer ARNt con su aminoácido y libera la molécula de ARNt.

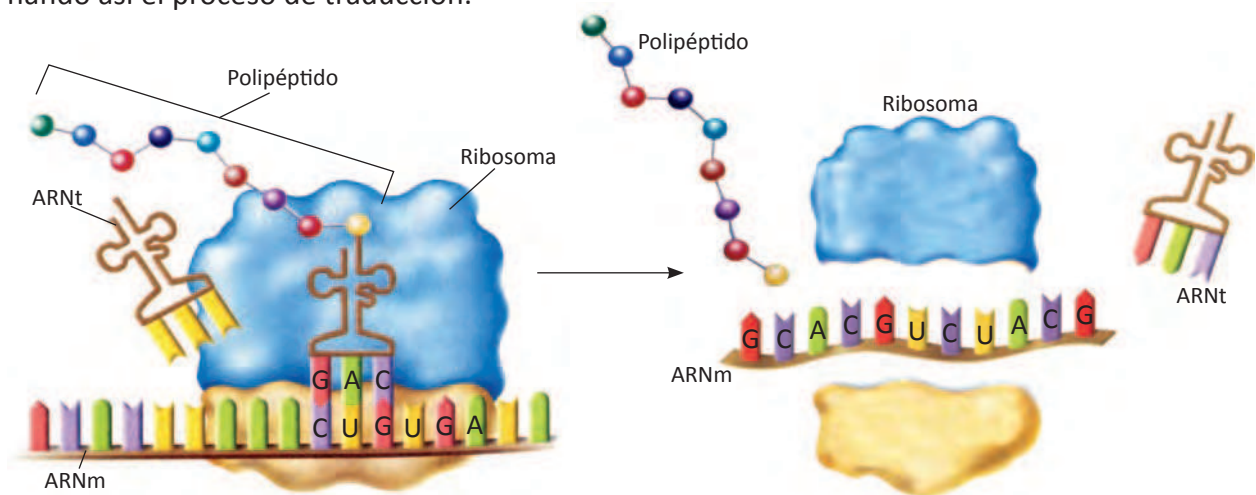


Figura 4.15 El proceso continúa hasta que el ribosoma llega a uno de los tres codones de alto, en este caso UGA. El resultado es un polipéptido terminado.

Resumiendo, la **síntesis de proteínas** se realiza en dos etapas: la transcripción y la traducción. La transcripción se realiza en el núcleo celular, donde a partir de una de las cadenas de ADN (la cadena molde) se copia la información a otra molécula de otro ácido nucleico, el ARN, que lleva el mensaje al traductor, que es el ribosoma. La traducción se lleva a cabo en el citoplasma porque ahí se localizan los ribosomas que traducen el mensaje que trae desde el núcleo, el ARNm. El ribosoma traduce de tres en tres nucleótidos (codones) de ARNm. El codón que da la señal para iniciar la cadena polipeptídica es AUG. Los aminoácidos, que se encuentran también en el citoplasma, son acarreados por otro tipo de ARN, el de transporte. Este ARNt debe de poseer el anticodón que ensambla con el codón del ARNm. Los aminoácidos se van uniendo entre sí mediante enlaces peptídicos hasta que el ribosoma traduce alguno de los codones que no codifican aminoácido, los llamados codones de alto. Las subunidades del ribosoma se separan y queda libre

la cadena polipeptídica. En la síntesis de proteínas participan los tres tipos de ARN: el mensajero que trae la información del ADN, el de transporte que acarrea a los aminoácidos y el ribosómico que traduce al mensajero, ya que forma parte de la constitución química del ribosoma.

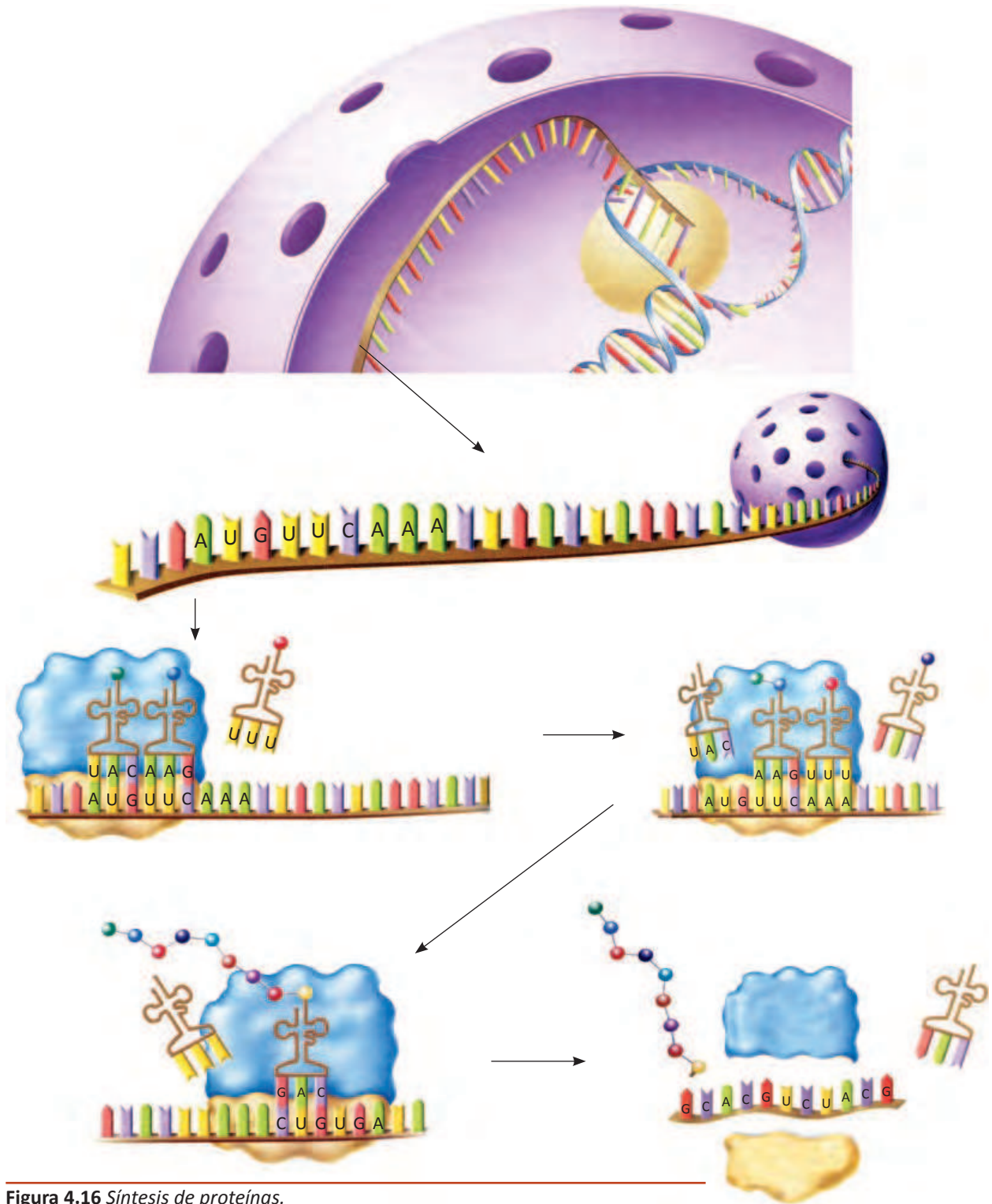


Figura 4.16 Síntesis de proteínas.

Se ha observado con el microscopio electrónico, que en algunas ocasiones, varios ribosomas traducen al mismo ARNm, se trata de un **polirribosoma** (también conocido como polisoma).

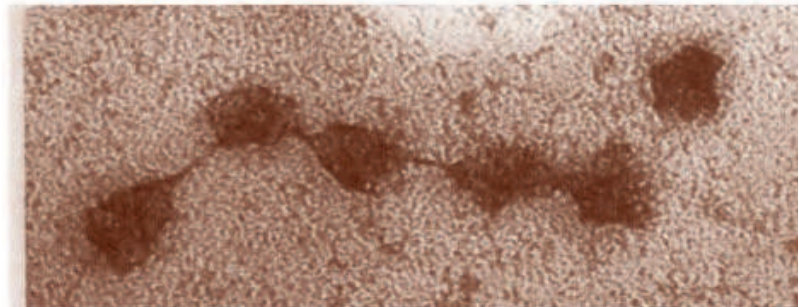
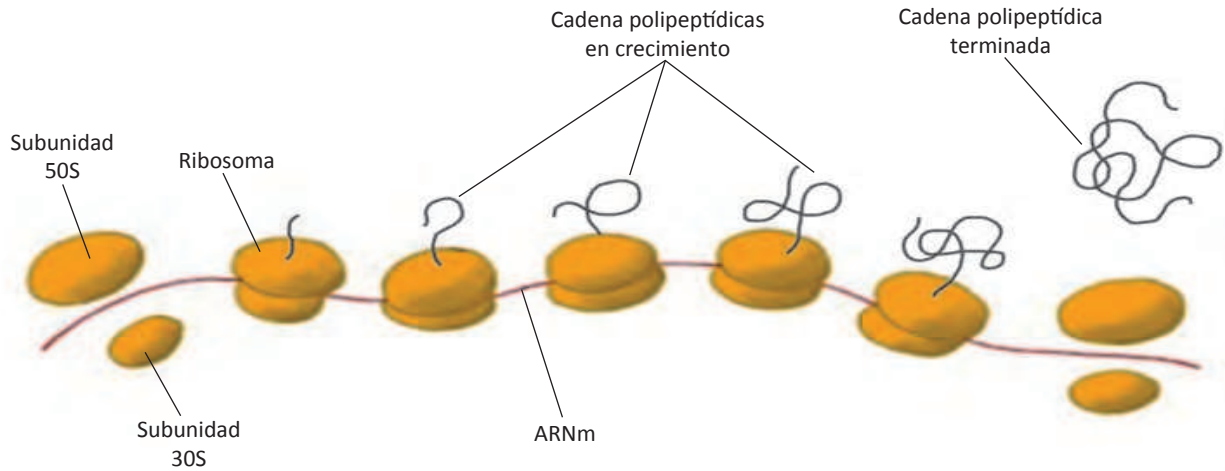


Figura 4.17 Esquema que muestra como una serie de ribosomas (polirribosoma) pueden traducir simultáneamente la misma molécula de ARNm. En la parte inferior se muestra una micrografía electrónica de un polirribosoma.

Retículo endoplásmico

El término *retículo endoplásmico* o *endoplasmático* proviene del griego que significa “red dentro de la célula”. Es un complejo laberinto de membranas internas paralelas que envuelven al núcleo y se extienden a muchas regiones del citoplasma. Este complejo de membranas, el **retículo endoplásmico** (RE), forma una red que en muchas células constituye una parte considerable del volumen total del citoplasma.

Muchas membranas del retículo endoplásmico consisten en una serie de estructuras en forma de sacos aplanados llamados **cisternas** que forman compartimientos conectados entre sí dentro del citoplasma. El espacio interno que encierra las membranas se llama luz del RE.

El retículo endoplásmico cumple numerosas funciones dentro de la célula pero es muy importante para la síntesis de lípidos, de proteínas de membrana y de proteínas de secreción. El RE es el sitio principal de síntesis de membranas nuevas en la célula.

Las membranas de otros organelos no tienen conexión directa con el RE; estas forman compartimientos bien delimitados y separados dentro del citoplasma.

En las micrografías electrónicas de transmisión se pueden distinguir dos regiones diferentes del RE: el **RE rugoso** y el **RE liso**. Estos organelos difieren en estructura y función, pero las membranas están conectadas y sus espacios internos son continuos.

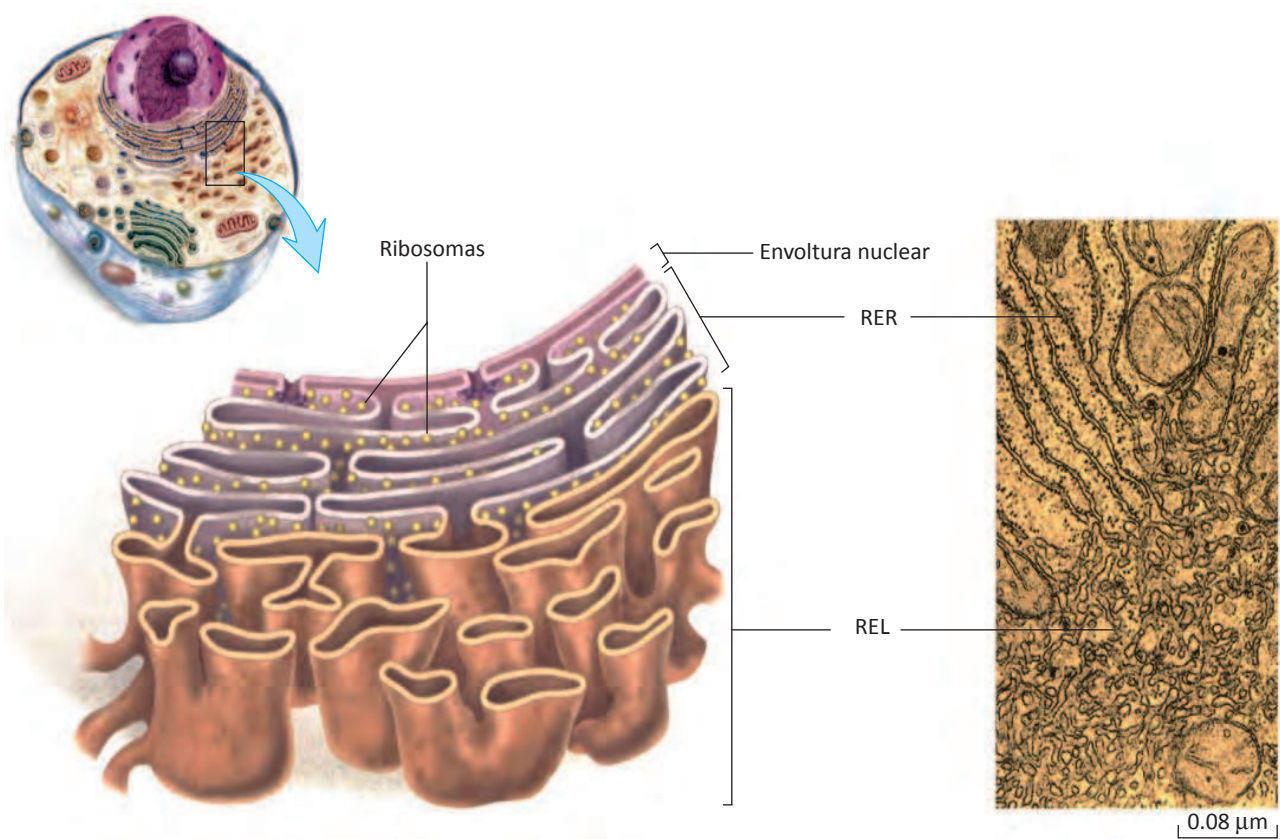


Figura 4.18 Dibujo del retículo endoplásmico liso (REL) y del retículo endoplásmico rugoso (RER). A la derecha se muestra una micrografía electrónica de los mismos.

Retículo endoplásmico liso

El RE liso (REL) se refiere a las regiones del RE que no tienen ribosomas adheridos a su membrana, por lo que presenta una apariencia lisa.

Las enzimas de las membranas del RE liso catalizan la síntesis de muchos lípidos: **fosfolípidos** y **colesterol** necesarios para la formación de membranas celulares. Además, sintetiza **hormonas esteroideas reproductoras** a partir de colesterol.

El RE liso es muy importante porque degrada enzimáticamente el glucógeno almacenado en el hígado y de esta manera regula la concentración de glucosa en la sangre. El REL almacena **iones calcio** y sintetiza **carbohidratos**.

En algunas células el REL se encuentra en cantidades pequeñas, mientras que otras tienen cantidades considerables. Por ejemplo, las células hepáticas humanas (hepatocitos) contienen mucho REL debido a que ahí se sintetizan los lípidos y además es un sitio de **detoxificación**, o sea de eliminación de sustancias tóxicas. Las enzimas del RE liso de los hepatocitos descomponen carcinógenos (sustancias que causan el cáncer), alcohol, anfetaminas, barbitúricos y pesticidas. El REL convierte estos compuestos en productos hidrosolubles que pueden ser excretados. El abuso de alcohol causa inflamación hepática que puede conducir a cirrosis y finalmente a insuficiencia hepática.

Retículo endoplásmico rugoso

El término “rugoso” se refiere a la apariencia de este organelo en las micrografías electrónicas. Como muestra la figura 4.18 la rugosidad resulta de la presencia de ribosomas adheridos, los cuales se observan como gránulos oscuros sobre la superficie externa del RER.

Las membranas del retículo endoplásmico rugoso son continuas con la membrana externa de la envoltura nuclear.

El RER tiene como función principal la **síntesis y ensamblaje** de **proteínas**. Los ribosomas unidos al RE rugoso sintetizan ciertas proteínas de membrana y de los organelos y, de hecho, todas las proteínas que serán secretadas por la célula. El ribosoma forma un cierre hermético con la membrana del retículo endoplásmico. El ribosoma tiene un túnel que se conecta con un poro del RER. Los polipéptidos sintetizados en el ribosoma se transportan a través del túnel y del poro de la membrana del RE hasta la luz del RE.

En la luz del RER se ensamblan las proteínas y pueden ser modificadas por enzimas que les añaden carbohidratos (para formar glucoproteínas), o lípidos (para formar lípoteínas).

Otras enzimas de la luz del retículo endoplásmico, conocidas como **carabinas moleculares**, catalizan el plegamiento eficaz de las proteínas para que adquieran su conformación adecuada. Las proteínas que no son procesadas correctamente (mal plegadas) son transportadas al citosol para ser degradadas en los **proteosomas**,

complejos proteínicos del citosol que dirigen la destrucción de proteínas defectuosas. Las proteínas que son procesadas correctamente son transportadas a otros compartimentos de la célula, por medio de pequeñas **vesículas de transporte**, que se desprenden en forma de yemas de la membrana del REL, en seguida se fusionan con la membrana del organelo de destino. Observa en la figura 4.20 el desprendimiento de las vesículas de transporte.

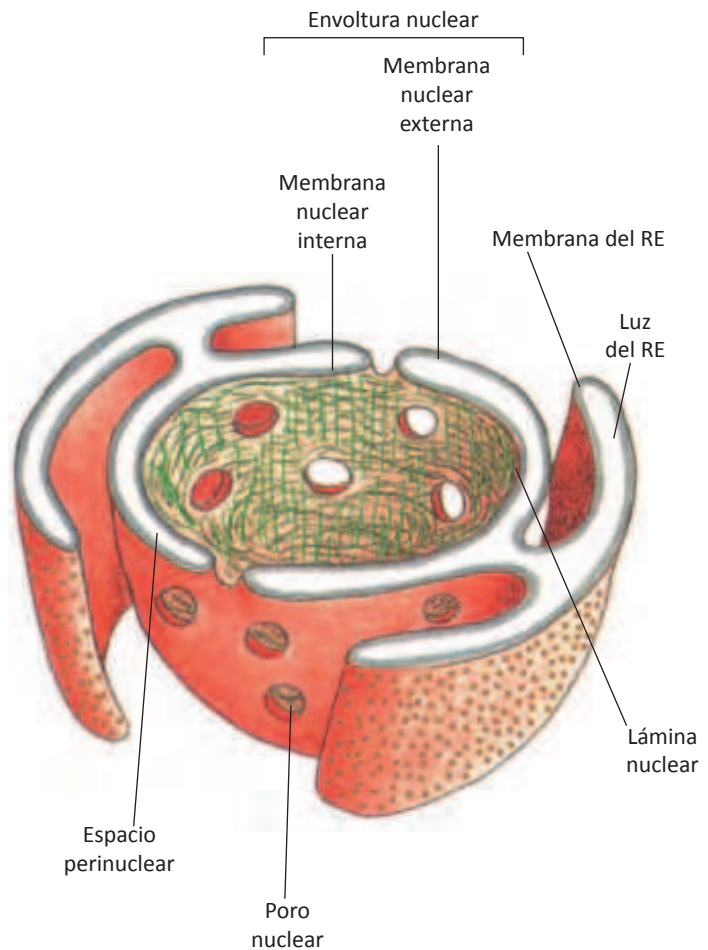


Figura 4.19 Observa como la membrana nuclear externa se continúa con el RE rugoso. En el dibujo no se muestran los ribosomas que normalmente se encuentran unidos a la superficie citosólica de la membrana del RE.

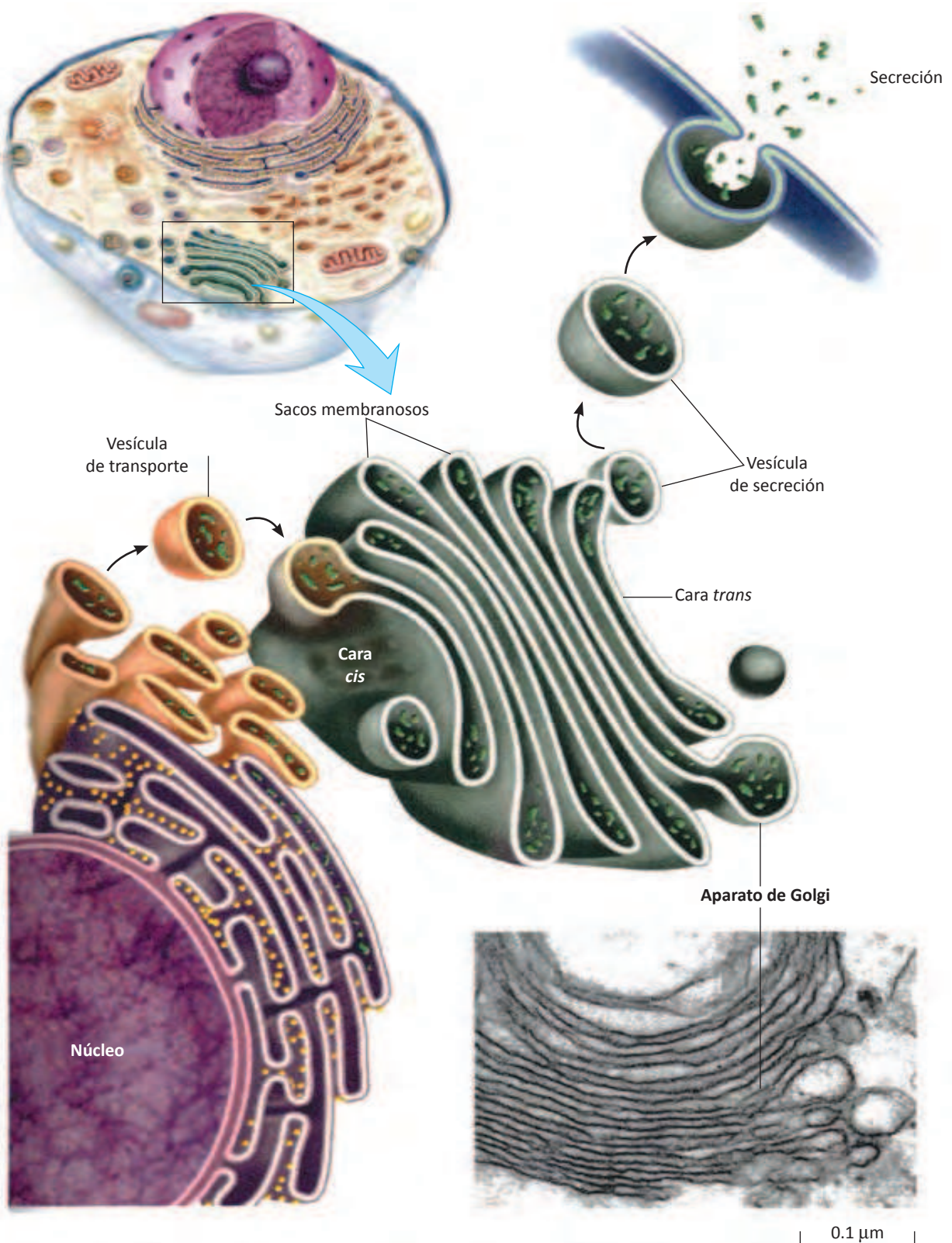


Figura 4.20 Síntesis y empaquetamiento de una proteína de secreción por el aparato de Golgi. En la parte inferior derecha se muestra una micrografía electrónica del mismo.

Aparato de Golgi

Es conocido también como **cuerpo** o **complejo de Golgi**, y fue descrito por primera vez en 1898 por el microscopista italiano Camilo Golgi, quien encontró una forma de teñir específicamente este organelo tanto en células vegetales como animales.

El microscopio electrónico ha revelado que el aparato de Golgi está constituido por una serie o pila de sacos membranosos aplanados llamados **cisternas** rodeados por un cierto número de **vesículas** membranosas más o menos esféricas. Cada uno de los sacos aplanados o cisternas tiene un espacio interno o **luz**.

Cada pila de cisternas del aparato de Golgi se llama **dictiosoma** y tiene tres regiones definidas: la **cis**, la **media** y la **trans**.

Por lo general, la cara *cis* se localiza más cerca del núcleo y recibe materiales de vesículas de transporte procedentes del RE. La cara *trans* está más próxima a la membrana plasmática, empaqueta moléculas en vesículas de secreción y las transporta fuera del aparato de Golgi.

El aparato de Golgi modifica, distribuye y empaqueta proteínas y lípidos ya sea para secreción o envío hacia otro organelo.

Minutos después de que las proteínas son sintetizadas en el RE rugoso, la mayor parte de ellas salen de él en pequeñas vesículas de transporte hacia otro organelo, el aparato de Golgi.

Las vesículas de transporte del RE liso se fusionan con la región *cis* del aparato de Golgi, donde depositan su contenido de proteínas. Estas proteínas avanzan desde la región *cis* a la *media* y luego a la *trans*. Dentro de cada región se encuentran distintas enzimas que modifican las proteínas según su destino final.

Después que las proteínas son modificadas en el aparato de Golgi, son transportadas afuera por vesículas de secreción que brotan del lado *trans* del Golgi. De esta manera, las nuevas proteínas viajan hacia su destino final. Algunas vesículas transportan las proteínas de membrana destinadas a la membrana plasmática, otras transportan las proteínas solubles para ser liberadas o secretadas desde la superficie celular.

Los aparatos de Golgi de las células vegetales producen polisacáridos extracelulares que se utilizan como componentes de la pared celular. En las células animales, el aparato de Golgi fabrica los lisosomas primarios.

AUTOEVALUACIÓN
Repaso de la unidad

Contesta las siguientes preguntas

1. ¿Cuál es la constitución química de un ribosoma?

2. ¿Dónde se sintetizan los ribosomas?

3. ¿Qué diferencias existen entre los ribosomas de las células eucarióticas y procarióticas?

4. ¿Dónde se localizan los ribosomas adheridos y los libres?

5. ¿Qué diferencias existen entre la transcripción y la traducción?

6. ¿Qué función realizan las polimerasas de ARN?

7. ¿En qué se diferencian la estructura y la función del RER y el REL?

8. ¿Cuáles son las funciones del complejo de Golgi?

9. ¿Qué organelo procesa, clasifica y modifica a las proteínas sintetizadas en el RER?

10. ¿Cuáles son las tres fases del proceso de traducción?

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f)

1. Los ribosomas son organelos sin membrana que solo se localizan en células procarióticas. ()
2. Los ribosomas son sintetizados en el nucleoplasma. ()
3. Los ribosomas poseen las enzimas necesarias para unir dos aminoácidos mediante enlaces peptídicos. ()
4. Cuando las dos subunidades (50S) y (30S) del ribosoma están separadas, pueden sintetizar proteínas. ()
5. El ARNm pasa por el surco entre las dos subunidades ribosómicas. ()
6. El ARNm es el intermediario o enlace entre el ADN y proteínas. ()
7. La síntesis de proteínas se lleva a cabo mediante un proceso conocido como transcripción. ()
8. Si la cadena molde de ADN posee el triplete ATC, el ARNm correspondiente posee el codón UAG. ()
9. Los ribosomas son las "fábricas de proteínas". ()
10. Los aminoácidos por sí mismos no pueden reconocer las cadenas de ARNm. ()

Selecciona la opción correcta

1. Molécula que posee un triplete especial de nucleótidos llamada anticodón:
 - a. ARNm
 - b. ARNr
 - c. ARNt
 - d. ATP
 - e. ADP

2. Se realiza en seguida de que el ARNm sale del núcleo y entra al citoplasma:
 - a. Traducción
 - b. Transcripción
 - c. Duplicación
 - d. Deshidratación
 - e. Ninguna es correcta

3. Consultando el código genético. El codón GAG codifica al aminoácido:
 - a. Ácido aspártico
 - b. Ácido glutámico
 - c. Cisteína
 - d. Glicina
 - e. Glutamina

4. Dentro de la maquinaria traductora (decodificadora) de la célula para la síntesis de proteínas, son muy importantes:
- a. ARNt y lisosomas
 - b. ARNt y ribosomas
 - c. ARNr y ribosomas
 - d. ARNm y peroxisomas
 - e. Aminoácidos y enzimas
5. Son los tres codones que no codifican aminoácidos:
- a. UUU, UUC, UUA
 - b. UCU, UCC, UCA
 - c. AAU, AAC, AAA
 - d. GGU, GGC, GGA
 - e. UAA, UAG, UGA
5. Son los complejos proteínicos del citosol que dirigen la destrucción de proteínas defectuosas:
- a. Nucleosomas
 - b. Vesículas de transporte
 - c. Proteosomas
 - d. Vesículas de secreción
 - e. b y d son correctas
6. En este organelo se sintetizan fosfolípidos, colesterol y hormonas sexuales:
- a. RER
 - b. REL
 - c. Aparato de Golgi
 - d. Peroxisoma
 - e. Ribosoma
7. En las células animales, este organelo fabrica los lisosomas primarios:
- a. Complejo de Golgi
 - b. Retículo endoplásmico rugoso
 - c. Retículo endoplásmico liso
 - d. Vacuola central
 - e. Vacuola alimenticia

8. La secuencia de sucesos para que se sintetice una proteína y luego sea secretada por la célula es:

- a. Ribosomas, REL, vesícula de secreción y aparato de Golgi
- b. Ribosomas, luz del RE, vesículas de transporte, complejo de Golgi y vesícula de secreción
- c. Ribosomas, lisosomas primarios, complejo de Golgi y vesículas de secreción
- d. Ribosomas, luz del RE, cuerpo de Golgi , lisosomas y vesículas de secreción
- e. Ninguna es correcta

9. Si el anticodón del ARNt es GUA, el codón del ARNm correspondiente es:

- a. CTT
- b. CTA
- c. GTA
- d. CUA
- e. CAU

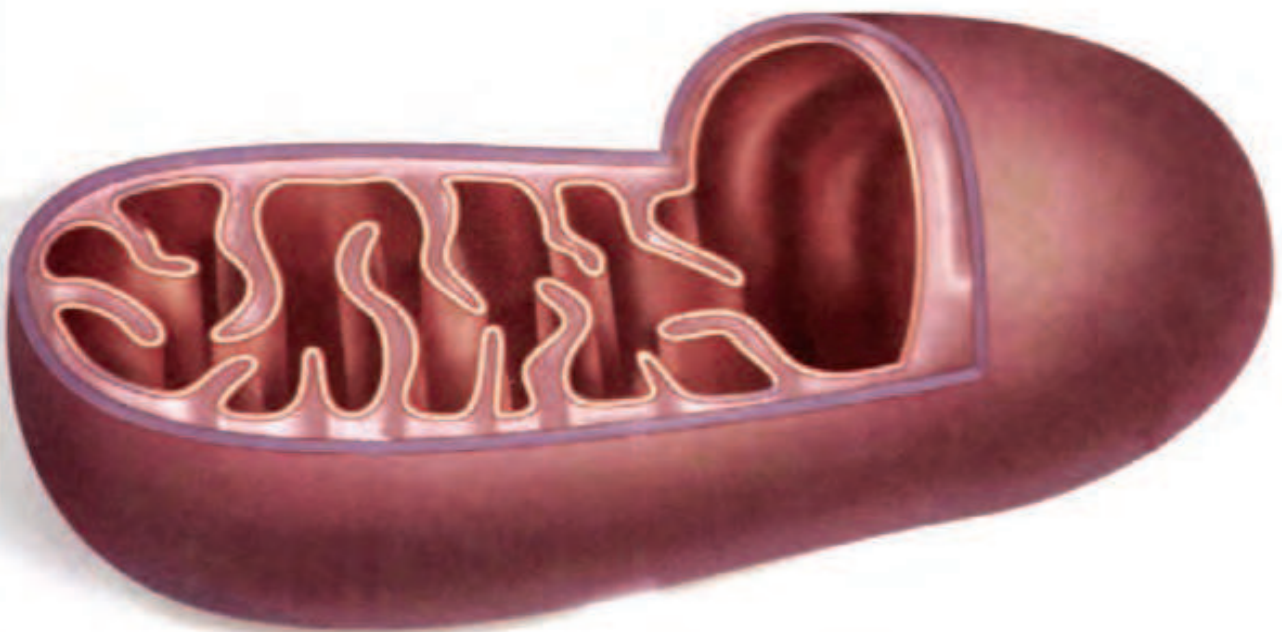
En la siguiente sopa de letras, localiza lo que se te pide:

1. Son los organelos más numerosos de las células.
2. Es la síntesis de ARNm en el núcleo celular.
3. Son los monómeros de las proteínas.
4. ARN que posee un triplete especial de bases nitrogenadas, llamado anticodón.
5. Se le llama así, al enlace entre dos aminoácidos.
6. Retículo endoplásmico que posee ribosomas sobre su superficie externa.
7. Ion que almacena el retículo endoplásmico liso.

P	E	P	T	I	D	I	C	O	H	T	A	C
L	A	G	U	N	I	L	L	A	D	R	O	S
A	D	E	R	I	B	O	S	O	M	A	S	E
G	U	A	D	A	L	A	J	A	R	N	I	G
A	M	I	N	O	A	C	I	D	O	S	A	S
N	A	R	A	N	J	I	C	A	L	C	I	O
G	I	G	A	N	T	E	S	I	M	R	P	U
I	S	R	U	G	O	S	O	R	R	I	P	I
N	I	C	O	D	E	M	I	T	O	P	O	R
T	R	A	N	S	F	E	R	E	N	C	I	A
U	R	T	U	Z	U	A	S	T	E	I	G	U
Y	U	R	I	R	I	A	G	U	A	O	N	A
A	Y	U	D	A	I	N	M	E	D	N	I	A

UNIDAD 5

CAPTURA Y TRANSFORMACIÓN DE ENERGÍA



Cloroplastos

Los **cloroplastos** son organelos verdes, grandes, que se encuentran sólo en las células de plantas y algas; las células de animales y de hongos carecen de ellos. Presentan una estructura compleja ya que además de las dos membranas que lo rodean, poseen membranas internas apiladas que contienen el pigmento verde **clorofila**.

Los cloroplastos realizan una tarea esencial para la vida en la Tierra, la **fotosíntesis**, es decir, capturan la energía de la luz solar en moléculas de clorofila y la utilizan para elaborar moléculas de azúcar ricas en energía.

Los cloroplastos pueden tener una longitud de $10\ \mu\text{m}$ y típicamente tienen $0.5\text{-}2\ \mu\text{m}$ de grosor, pero varían en tamaño y forma en distintas células, sobre todo entre las algas. Algunas células algales unicelulares poseen solamente un cloroplasto grande, mientras que la célula de una hoja de un vegetal puede poseer de 20 a 100 cloroplastos.

Todas las partes verdes de una planta contienen cloroplastos, pero en la mayoría de las plantas, las hojas son los sitios principales de la fotosíntesis.

Los cloroplastos contienen su propio ADN y ribosomas. Estos organelos se reproducen dividiéndose en dos, proceso conocido como división binaria. El organelo crece y posteriormente se divide. Debido a las razones mencionadas anteriormente, se cree que evolucionaron a partir de las bacterias; en este caso, de bacterias fotosintéticas incorporadas por una célula eucarionte primitiva.



Figura 5.1 Célula vegetal vista al microscopio en la que se observan un gran número de cloroplastos.

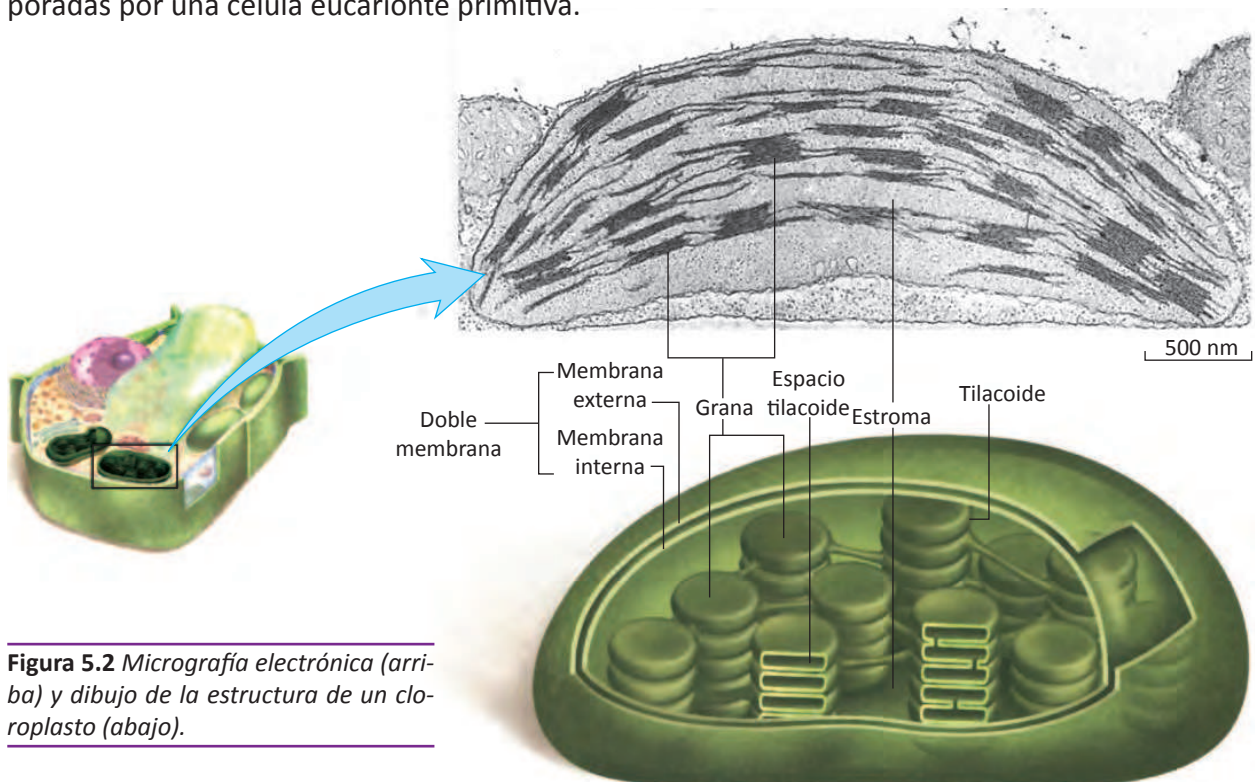


Figura 5.2 Micrografía electrónica (arriba) y dibujo de la estructura de un cloroplasto (abajo).

Las dos membranas del cloroplasto lo separan del citosol. La membrana interna rodea un espacio lleno de líquido llamado **estroma**, que contiene las enzimas necesarias para que se lleve a cabo la fotosíntesis. Suspendido en el estroma, se encuentra un sistema de membranas internas que consisten en sacos aplanados en forma de disco, denominados **tilacoides**, conectados entre sí. Los tilacoides están organizados en pilas, llamadas **grana**. Cada granum (singular) tiene un aspecto semejante al de una pila de monedas, en la que cada “moneda” es un tilacoide.

El color verde de las plantas se debe al color verde de la clorofila, que se localiza en la membrana tilacoide. Los cloroplastos pertenecen a un grupo de organelos conocidos como **plastidios** o **plástidos**. Los plástidos tienen ADN y son producidos mediante la división de los plástidos existentes. Otros tipos de plástidos son los cromoplastos y los leucoplastos.

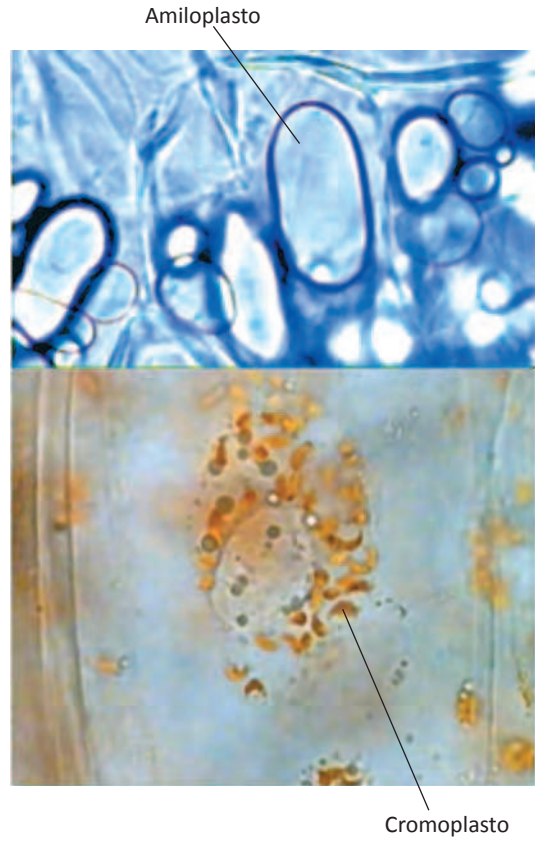


Figura 5.3 Micrografía de los amiloplastos de las células de papa y de cromoplastos de las células de tomate.

- **Cromoplastos:** contienen pigmentos que dan a ciertas flores y frutos sus colores característicos; estos colores atraen a los animales que sirven como polinizadores o como mecanismos de dispersión de las semillas.
- **Leucoplastos:** Son plastidios sin pigmento, incluye a los **amiloplastos** que almacenan almidón en las células y muchas semillas, raíces y tubérculos.



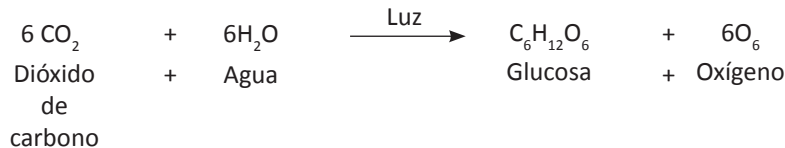
Cabe aclarar que los procariontes fotosintéticos carecen de cloroplastos, pero las membranas tilacoidales con frecuencia están dispuestas en la periferia de la célula a modo de invaginaciones de la membrana plasmática.

Figura 5.4 Fotosíntesis en las plantas. La energía de la luz del Sol es transformada en energía química. Estos autótrofos usan energía solar para realizar reacciones químicas que convierten el dióxido de carbono y agua, en oxígeno y carbohidratos ricos en energía: azúcares y almidones.

La fotosíntesis es realizada por células que poseen clorofila: vegetales, protistas tipo vegetal (algas), cianobacterias y otras bacterias fotosintéticas.

La fotosíntesis es responsable de **liberar oxígeno** a la atmósfera terrestre y de **eliminar dióxido de carbono** de ella. De hecho, si no fuera por los autótrofos fotosintetizadores, el aire no contendría suficiente oxígeno para respirar.

Durante la fotosíntesis, la célula utiliza energía lumínica capturada por la clorofila, para convertir agua y dióxido de carbono en azúcares de alta energía y oxígeno. La ecuación general de la fotosíntesis puede expresarse de la siguiente manera:



Los organismos fotosintéticos utilizan materias primas de baja energía (CO₂ y H₂O) para producir azúcares (C₆H₁₂O₆) de alta energía y liberar oxígeno (O₂). Además de agua y dióxido de carbono, la fotosíntesis requiere de luz solar y clorofila, molécula contenida en los cloroplastos.

Las membranas tilacoidales contienen varios tipos de pigmentos fotosintéticos, sustancias que absorben luz visible del espectro electromagnético. La **clorofila** es el principal pigmento fotosintético, es decir, el que absorbe más luz para que se realice la fotosíntesis.

La molécula de clorofila tiene dos partes principales, un anillo complejo y una larga cadena lateral hidrocarbonada que la hace muy apolar y permite su anclaje en la membrana tilacoidal. El anillo de porfirina, formado por anillos más pequeños de átomos de carbono y nitrógeno, absorbe la energía luminosa. El anillo de porfirina con un átomo de magnesio (Mg) en el centro, contiene un sistema de enlaces dobles y sencillos alternados; este sistema es muy común en moléculas que absorben fuertemente ciertas longitudes de onda de la luz visible y reflejan otras. La clorofila refleja el verde.

Las moléculas de clorofila de la membrana tilacoidal están asocia-

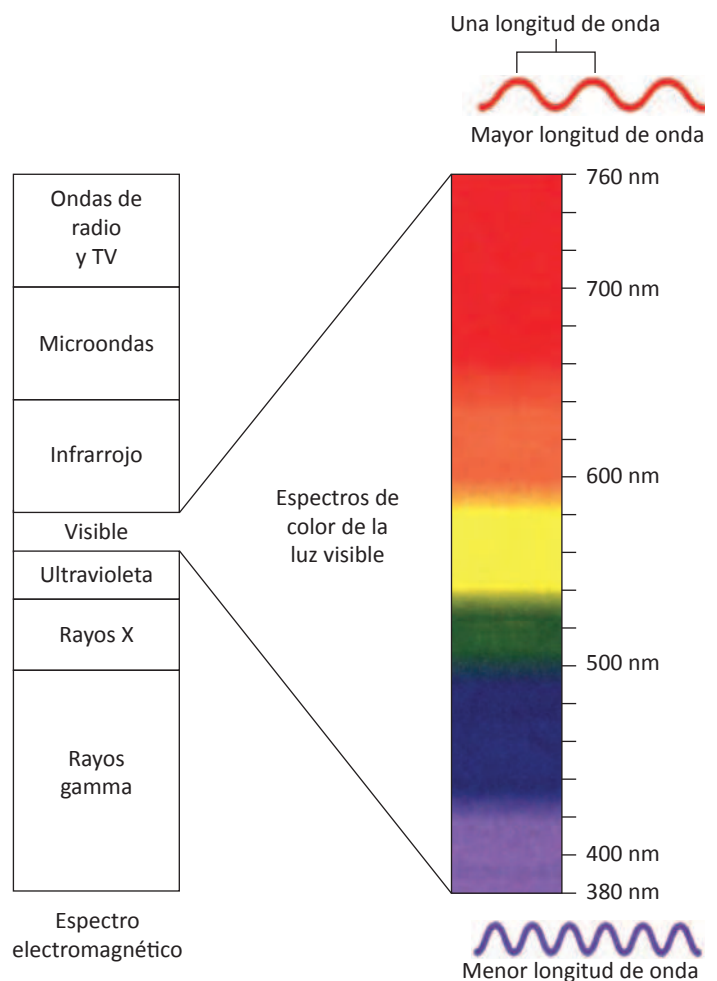


Figura 5.5 Espectro electromagnético.

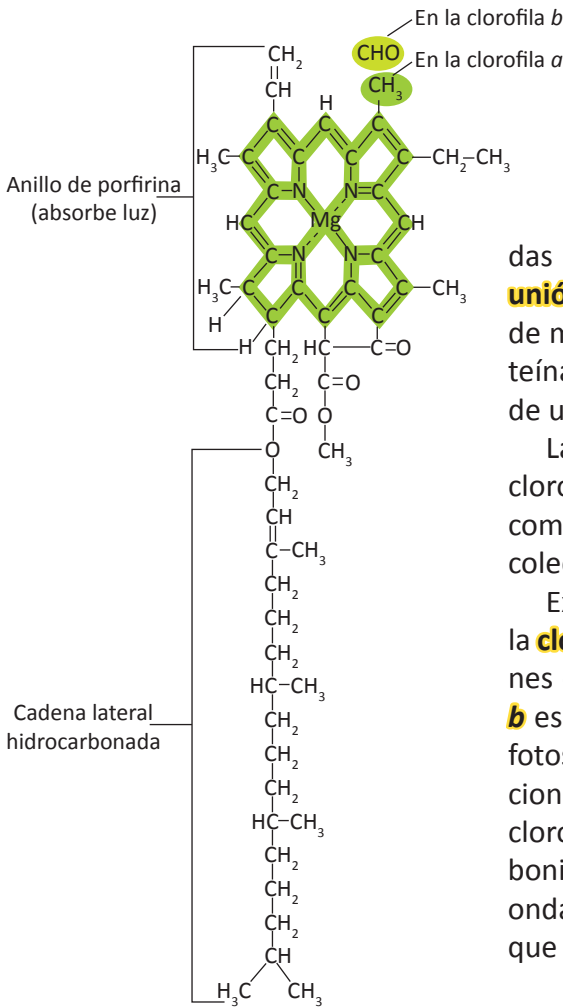


Figura 5.6 Estructura de la molécula de clorofila. Está formada por un anillo de porfirina y una cadena lateral hidrocarbonada. Observa que en el ángulo superior derecho de la molécula, el grupo metilo (-CH₃) distingue a la clorofila **a** respecto de la clorofila **b**, que tiene un grupo carbonilo (-CHO) en esta posición.

das con 15 tipos diferentes de **proteínas específicas de unión a la clorofila**. Cada membrana tilacooidal está llena de moléculas de clorofila orientadas con precisión y proteínas de unión que facilitan la transferencia de energía de una molécula a otra.

Las proteínas de la membrana tilacoide organizan la clorofila y los pigmentos accesorios en grupos conocidos como **fotosistemas**. Los fotosistemas son las unidades recolectoras de luz del cloroplasto.

Existen varios tipos de clorofila. La más importante es la **clorofila a**, porque es el pigmento que inicia las reacciones dependientes de la luz de la fotosíntesis. La **clorofila b** es un pigmento accesorio, que también participa en la fotosíntesis. Difiere de la clorofila **a** solo en un grupo funcional del anillo de porfirina: el grupo metilo (-CH₃) de la clorofila **a** es sustituido en la clorofila **b** por un grupo carbonilo (-CHO). Esta diferencia desplaza las longitudes de onda absorbidas y reflejadas por la clorofila **b**, de modo que esta última aparece verde amarillenta, mientras que

la clorofila **a** se observa verde oscuro. La clorofila **a** absorbe luz principalmente en las regiones azul-violeta y roja del espectro visible, mientras que la clorofila **b** absorbe luz en las regiones azul y roja del espectro visible. La luz verde no es absorbida en grado apreciable por la clorofila. Las plantas suelen verse verdes debido a que sus hojas dispersan o reflejan parte de la luz de ese color que les llega.

Los cloroplastos también contienen otros pigmentos fotosintéticos accesorios, como los **carotenoides** de color amarillo o anaranjado. Estos pigmentos, absorben longitudes de onda de la luz, diferentes a las que corresponden a la clo-

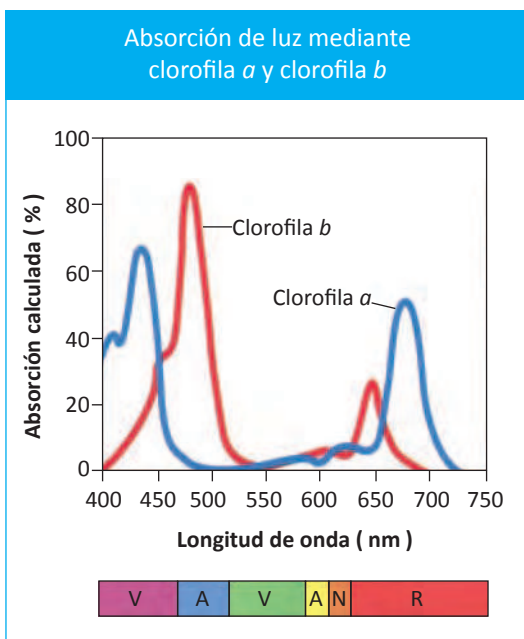


Figura 5.7 Gráfica de la absorción de luz mediante clorofila **a** y clorofila **b**. La clorofila **a** absorbe luz principalmente en las regiones azul-violeta y roja. La clorofila **b** absorbe luz en las regiones azul y roja.

rofila, ampliando de ese modo el espectro luminoso que aporta energía para la fotosíntesis. La clorofila puede ser directamente excitada por la luz, mediante la energía que le llega de la fuente lumínica, o de forma indirecta mediante energía que llega a ella desde pigmentos accesorios excitados por la luz. Cuando se excita una molécula de carotenoide, su energía puede transferirse a la clorofila *a*. Los carotenooides también protegen a la clorofila y otras partes de la membrana tilacooidal, del exceso de energía lumínica que podría dañar con facilidad los componentes fotosintéticos ya que en la naturaleza son frecuentes las altas intensidades lumínicas.

En muchos árboles de clima templado, cuando sus hojas cambian de color en el otoño, la clorofila se degrada y su magnesio se almacena en los tejidos permanentes del árbol, dejando los pigmentos accesorios naranja y amarillo en las hojas.



Figura 5.8 Los pigmentos accesorios amarillo y naranja, predominan sobre la clorofila durante el otoño.

Fotosíntesis

En el siglo XIX se descubrieron las condiciones para la fotosíntesis, pero fue hasta la mitad del siglo XX cuando los biólogos comprendieron las complejas reacciones que hacen posible este importante proceso celular.

El proceso de la fotosíntesis incluye dos fases: **reacciones dependientes de la luz** y **reacciones independientes de la luz**.

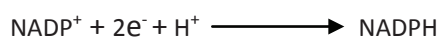
Cada conjunto de reacciones tiene lugar en una región distinta del cloroplasto.

Antes de estudiar las dos fases de la fotosíntesis, analizaremos la forma mediante la cual son transportados los **electrones**.

Cuando la molécula de clorofila absorbe luz, gran parte de la energía se transfiere directamente a sus electrones, elevando su nivel de energía. Estos electrones de alta energía requieren de un transportador especial. Imagina que los electrones de alta energía son como carbones ardientes en una fogata. Si quieres pasarlos de un lugar a otro, no podrás tomarlos con las manos sino que tendrás que usar un sartén. Las células hacen lo mismo con los electrones de alta energía, pero en lugar de sartén usan **transportadores de electrones** para mover electrones de alta energía de la clorofila a otras moléculas, como se muestra en la figura 5.9.

Una **molécula transportadora** es un compuesto que acepta un par de electrones de alta energía y los transfiere, junto con casi toda su energía, a otra molécula.

Una de las moléculas transportadoras es un compuesto denominado NADP⁺ (fosfato de dinucleótido de nicotinamida y adenina). El nombre es complicado, pero la función de esta molécula es bastante simple: acepta y retiene dos electrones de alta energía junto con un ión hidrógeno (H⁺).



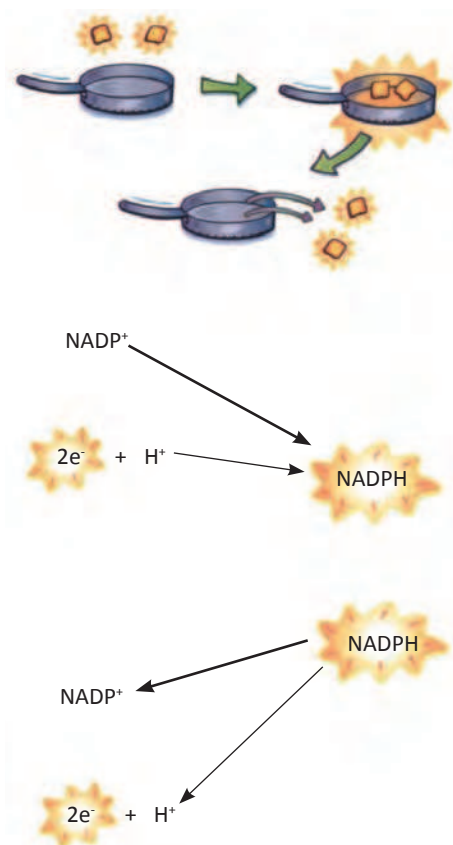


Figura 5.9 Al igual que un sartén transporta carbones calientes, el $NADP^+$ transporta electrones.

De esta manera, $NADP^+$ se convierte en $NADPH$ (forma reducida del $NADP^+$). La conversión de $NADP^+$ en $NADPH$ es una de las formas mediante la cual, parte de la energía de la luz del Sol queda atrapada en forma química.

Después, el $NADPH$ puede transportar los electrones de alta energía a otras partes de la célula donde hacen falta para reacciones químicas ($NADPH \longrightarrow NADP^+ + 2e^- + H^+$). Los electrones de alta energía son utilizados para construir diversas moléculas que necesita la célula, como por ejemplo, la glucosa.

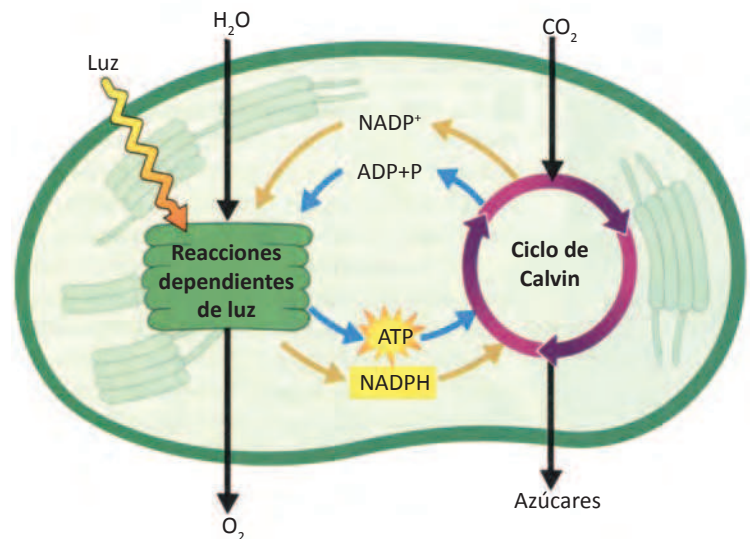


Figura 5.10 Perspectiva general de la fotosíntesis.

Reacciones dependientes de la luz

Como lo indica su nombre, las **reacciones dependientes de la luz** requieren de energía luminosa (la parte “foto” de la fotosíntesis). Este conjunto de reacciones se llevan a cabo en las membranas tilacoides de los cloroplastos. Por eso, las plantas necesitan luz para crecer.

Las reacciones dependientes de la luz, producen **oxígeno gaseoso** y convierten ADP y $NADP^+$ en transportadores de energía ATP y $NADPH$.

Recuerda que los fotosistemas son las unidades recolectoras de luz del cloroplasto (clorofila y pigmentos accesorios). Guíate en la figura 5.14 para una mejor comprensión.

- A. Formación de electrones de alta energía.** La fotosíntesis se inicia cuando los pigmentos del fotosistema II (de color verde) absorben la luz. El primer fotosistema se llama fotosistema II porque fue descubierto después del fotosistema I. Los electrones absorben la energía lumínica y se convierten en **electrones de alta energía** (color naranja) que pasan a la cadena de transporte de electrones. La membrana tilacoide contiene un sistema que pasa nuevos electrones a la clorofila, para reemplazar los que pierde y de esta manera, si la luz persiste, la molécula de clorofila no se queda sin electrones.



Figura 5.11 Como todas las plantas, este brote necesita luz para poder crecer. La fase de la fotosíntesis que requiere luz se realiza en las membranas tilacoideas de los cloroplastos y recibe el nombre de reacciones dependientes de la luz.

cual, la fotosíntesis hace que la vida sea posible. Los H^+ que quedan al descomponerse la molécula de agua, se liberan en el interior de la membrana tilacoide.

Los nuevos electrones se obtienen de las moléculas de **agua** (H_2O). Las enzimas de la superficie interna de la membrana tilacoide descomponen cada molécula de agua en 2 electrones, 2 iones hidrógeno (H^+) y un átomo de oxígeno. Los dos electrones reemplazan a los electrones de alta energía que ha perdido la clorofila en la cadena de transporte de electrones. Cuando las plantas retiran los electrones del agua, el oxígeno que queda es liberado al aire. Dicho de una manera más sencilla, el agua se disocia y se **libera oxígeno molecular**. El oxígeno es liberado de la célula por medio de los **estomas**.

Esta reacción es la fuente de casi todo el oxígeno de la atmósfera, y es otra forma mediante la

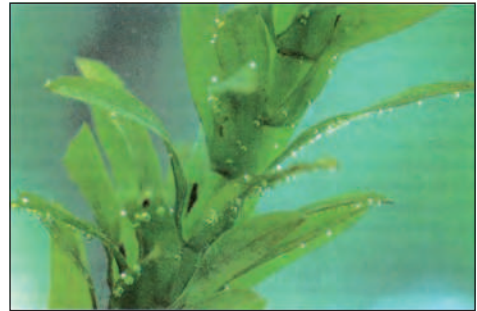


Figura 5.12 Producción de oxígeno en la fotosíntesis. En días soleados, el oxígeno que liberan las plantas acuáticas es visible como burbujas en el agua, como se puede observar en la planta acuática de Elodea.

- B.** La energía de los electrones energizados es utilizada para transportar H^+ . Los electrones de alta energía pasan por la cadena de transporte de electrones del fotosistema II al fotosistema I (también de color verde). Las moléculas de la cadena de transporte de electrones utilizan la energía de los electrones para transportar H^+ del estroma al espacio tilacoide interior.
- C.** Se forma el **NADPH**. Los pigmentos del fotosistema I utilizan la energía lumínica para recargar los electrones que fueron liberados por el fotosistema II y de esta forma, vuelven a quedar con energía en el fotosistema I. Entonces, en la superficie exterior de la membrana tilacoide, **NADP⁺** toma los electrones de alta energía (se reduce) y los H^+ , además de otro H^+ , y se convierte en **NADPH**.
- D.** Se produce una diferencia de cargas en ambos lados de la membrana tilacoide. Cuando los electrones pasan de la clorofila a **NADP⁺** se bombea más H^+ a través de la membrana. Después de un tiempo, el interior de la membrana se llena de H^+ y como los H^+ tienen carga positiva provocan que el exterior de la membrana tilacoide tenga carga negativa mientras que el interior tiene carga positiva. La diferencia de cargas en ambos lados de la membrana proporciona la energía necesaria para producir ATP. Por eso, los H^+ son muy importantes.
- E.** Se forma el **ATP**. Los iones no pueden cruzar las membranas directamente. Sin embargo, la membrana contiene una enzima llamada **ATP sintetasa**, que se extiende por toda la membrana y permite que los H^+ la atraviesen. Cuando los H^+ pasan a través de la ATP sintetasa,

esta enzima gira como una turbina de agua en una planta de energía hidroeléctrica. Al girar, la ATP sintetasa liga al ADP (adenosin difosfato) con un grupo fosfato para producir ATP. Gracias a este sistema, el transporte de electrones dependiente de la luz produce no solo electrones de alta energía, sino también ATP.

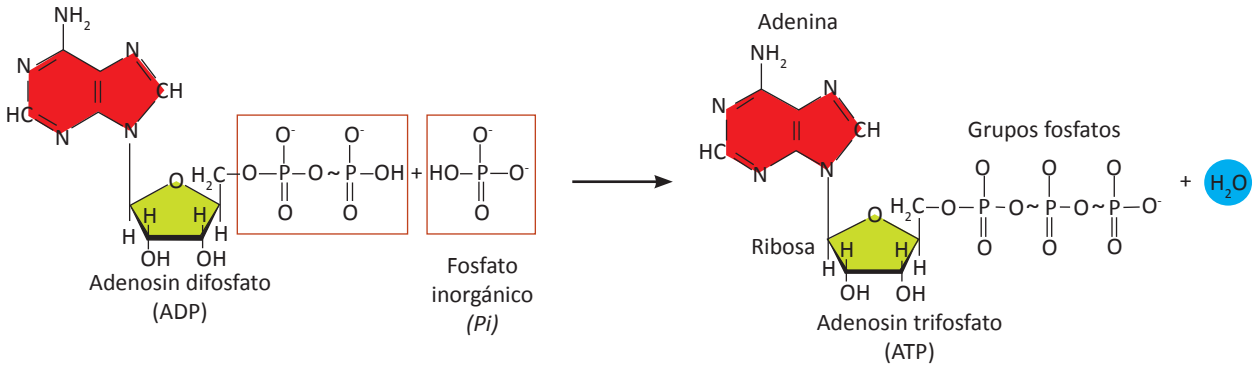


Figura 5.13 Al girar, la ATP sintetasa liga al ADP (adenosin difosfato) con un grupo fosfato para producir ATP.

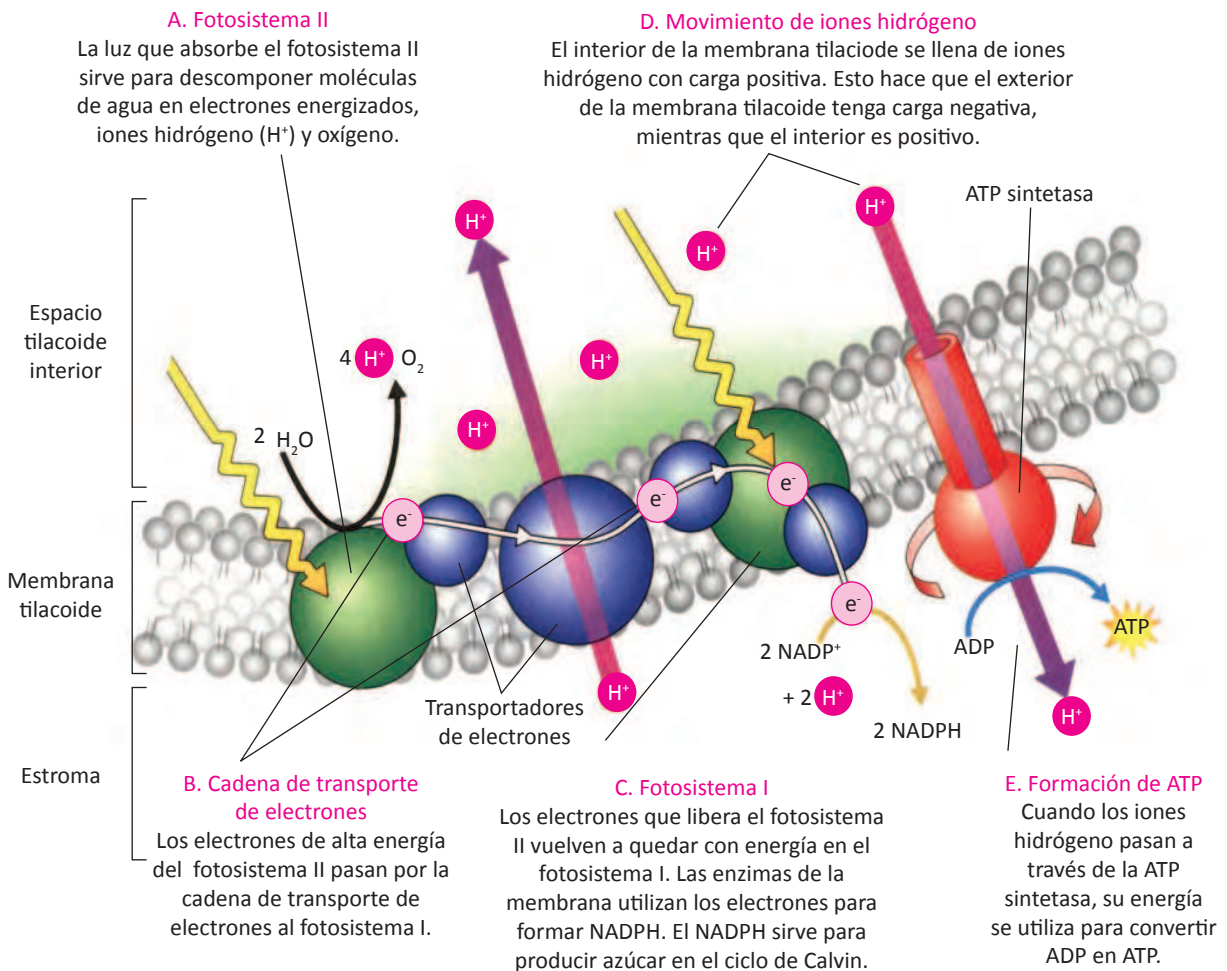


Figura 5.14 Reacciones dependientes de la luz. Se llevan a cabo en la membrana tilacoide de los cloroplastos. Utilizan la energía de la luz solar para producir ATP, NADPH y oxígeno.

Resumiendo, las reacciones dependientes de la luz, utilizan H_2O , ADP y $NADP^+$ para producir O_2 y dos compuestos de alta energía: ATP y NADPH. Como veremos en la siguiente fase de la fotosíntesis (ciclo de Calvin), estos compuestos de alta energía tienen un importante papel dentro de la célula porque proporcionan la energía necesaria para producir azúcares energéticos a partir de compuestos de baja energía.

Reacciones independientes de la luz

Estas reacciones son conocidas también como **ciclo de Calvin**. Son las reacciones de fijación de carbono (la parte de “*síntesis*” de la fotosíntesis).

Este proceso lleva el nombre del científico estadounidense **Melvin Calvin** quien descubrió los detalles del excepcional ciclo. Como el ciclo de Calvin no necesita luz, estas reacciones se conocen como **reacciones independientes de la luz**. Este conjunto de reacciones se realizan en el estroma del cloroplasto.

El ATP y NADPH producidos mediante las reacciones dependientes de la luz, contienen abundante energía química, pero no son lo bastante estables para almacenar energía durante más de unos pocos minutos. Durante el ciclo de Calvin, las plantas utilizan la energía contenida en el ATP y NADPH para construir compuestos de alta energía que pueden almacenarse durante mucho tiempo.

Estudia la figura 5.15 para ver cómo funciona el ciclo de Calvin.

- A. *El dióxido de carbono (CO_2) entra al ciclo.* Seis moléculas de CO_2 procedentes de la atmósfera entran al ciclo, para combinarse con seis moléculas de 5 carbonos y producir doce moléculas de 3 carbonos. Recuerda que mediante los estomas, entra a la célula vegetal el CO_2
- B. *Entrada de energía.* En seguida, las doce moléculas de 3 carbonos se convierten en formas ricas en energía. La energía necesaria para esta transformación proviene del ATP y de los electrones de alta energía del NADPH.
- C. *Producción de azúcar de 6 carbonos.* Dos de las doce moléculas de 3 carbonos salen del ciclo. La célula vegetal utiliza esas moléculas que salen del ciclo para producir azúcares, lípidos, aminoácidos y otros compuestos que necesita para su metabolismo y crecimiento.
- D. *Regeneración de moléculas de 5 carbonos.* Las restantes diez moléculas de 3 carbonos se vuelven a convertir en seis moléculas de 5 carbonos. Estas seis moléculas de 5 carbonos se combinan con 6 nuevas moléculas de CO_2 atmosférico, para iniciar el siguiente ciclo.

Resumiendo, en el ciclo de Calvin, seis moléculas de dióxido de carbono producen una molécula de azúcar, la **glucosa**, que es un carbohidrato (monosacárido) de 6 átomos de carbono, rica en energía. El vegetal utiliza estos azúcares para satisfacer sus necesidades de energía y construir más macromoléculas complejas necesarias para su crecimiento y desarrollo. Un ejemplo de estas macromoléculas es la **celulosa**. Cuando otros organismos se alimentan de vegetales, usan la energía almacenada en los carbohidratos.

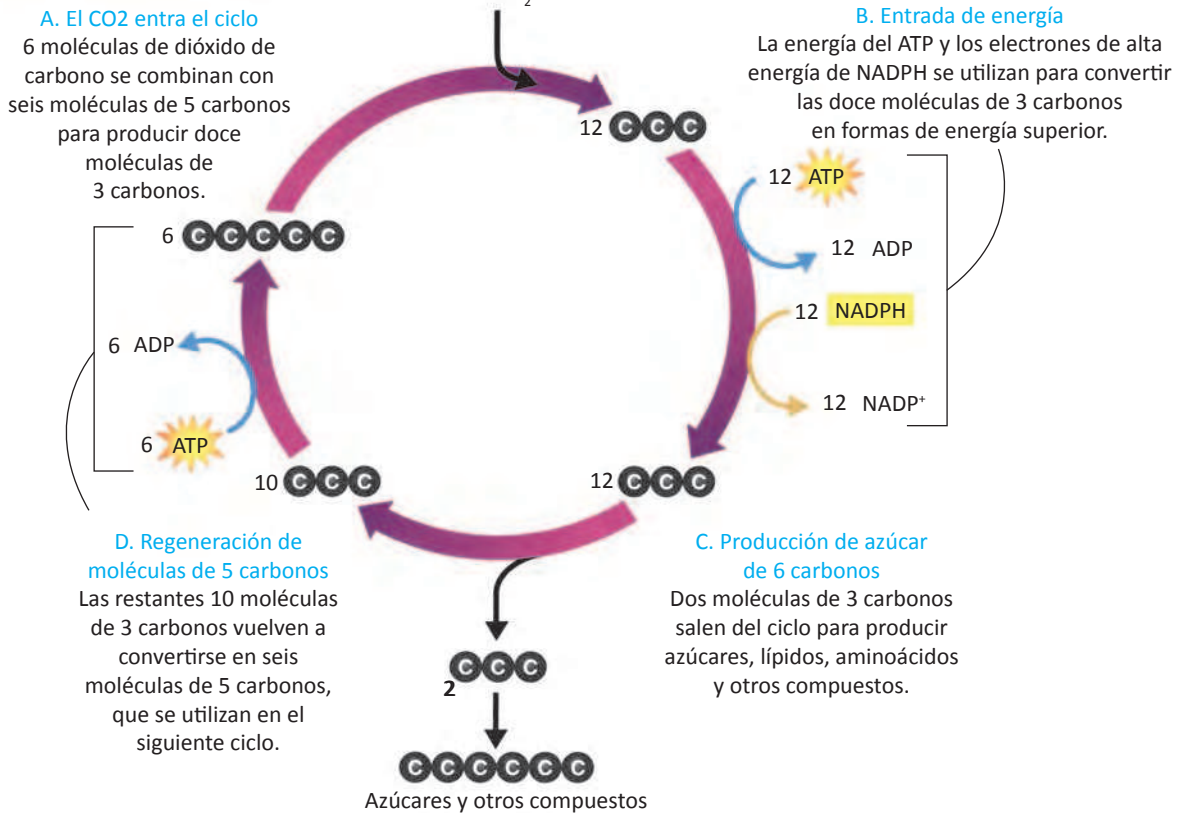
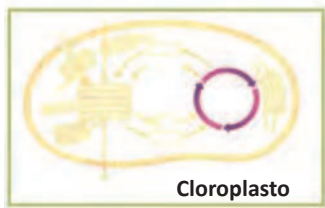


Figura 5.15 El ciclo de Calvin. Este ciclo no necesita luz, se realiza en el estroma de los cloroplastos. Utiliza ATP y NADPH provenientes de las reacciones dependientes de la luz, para producir azúcares.

Comparación de las dos fases de la fotosíntesis:

- Las dos fases de la fotosíntesis se realizan dentro del cloroplasto, pero las reacciones dependientes de la luz se realizan en la membrana del tilacoide mientras que el ciclo de Calvin en el estroma.
- Para que se lleven a cabo las reacciones dependientes de luz es necesaria el agua, ADP y NADP⁺ y por supuesto la energía solar. Las moléculas que se producen mediante estas reacciones son: ATP, NADPH y O₂. El O₂ es liberado a la atmósfera y permite que los animales, incluyendo al género humano disfruten de una atmósfera llena de oxígeno esencial para realizar otro proceso vital, la respiración celular.
- Para que se verifique el ciclo de Calvin no es necesaria la luz. En estas reacciones independientes de la luz son utilizados tanto el ATP como el NADPH que son los productos de las reacciones dependientes de luz. Además se requiere del CO₂ atmosférico y seis moléculas

de 5 átomos de carbono. Los productos de estas reacciones son los azúcares y otras moléculas.

- Los dos conjuntos de reacciones fotosintéticas: las dependientes de luz y el ciclo de Calvin, operan en combinación: las reacciones dependientes de la luz atrapan energía lumínica y la transforman en energía química. Las reacciones independientes de la luz utilizan la energía química producida por las reacciones dependientes, para producir azúcares estables de alta energía a partir de dióxido de carbono.

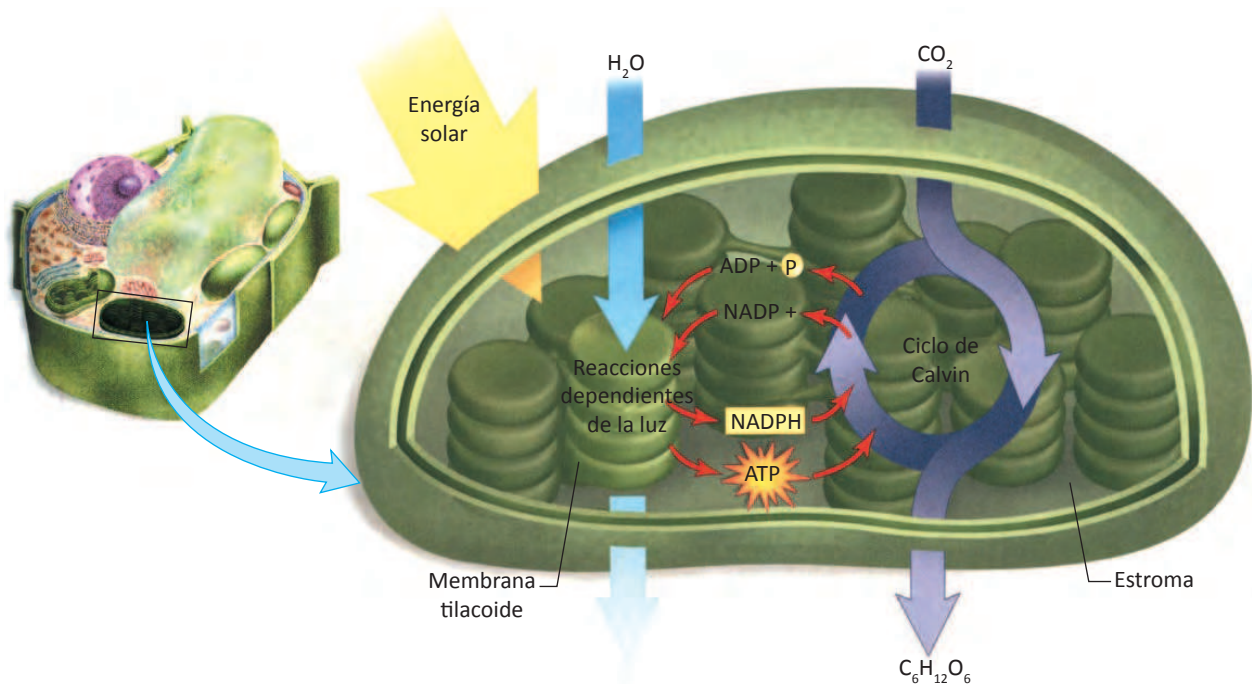


Figura 5.16 Resumen de la fotosíntesis. El proceso de fotosíntesis consiste en reacciones dependientes de luz que producen ATP y NADPH en la membrana tilacoide. Estas moléculas son utilizadas en el ciclo de Calvin para reducir el CO_2 a carbohidratos, en el estroma tilacoidal.

Factores que afectan la fotosíntesis

- **Agua.** Como el agua es una de las materias primas de la fotosíntesis, la escasez de agua provoca que se realice más lenta o que sea interrumpida. Las plantas que viven en ambientes secos, como las del desierto, tienen una cubierta cerosa en las hojas para reducir la pérdida de agua.
- **Temperatura.** La fotosíntesis depende del óptimo funcionamiento de las enzimas, entre $0^\circ C$ y $35^\circ C$. Cualquier temperatura mayor o menor de este rango podría dañar las enzimas y volver más lenta la fotosíntesis. Cuando las temperaturas son muy bajas, la fotosíntesis puede interrumpirse completamente.
- **Intensidad de la luz.** La creciente intensidad lumínica aumenta la velocidad de la fotosíntesis. Pero cuando la luz llega a cierto nivel, la planta alcanza la velocidad máxima de fotosíntesis. El nivel en el que la intensidad de la luz ya no afecta la fotosíntesis, varía según el tipo de planta. Las coníferas realizan la fotosíntesis sólo en días templados y soleados.



Figura 5.17 Las plantas desérticas como esta yuca se ha adaptado para sobrevivir con un poco de agua. Durante los fríos meses invernales, estas coníferas realizan la fotosíntesis sólo de manera especial.

Mitocondrias

Las **mitocondrias** son organelos complejos altamente especializados en la producción de energía. Es en ellas donde se produce la mayor parte del ATP celular, mediante el proceso de **respiración celular**. Se localizan prácticamente en todas las células eucariontes, donde pueden llegar a ocupar hasta un 25% del volumen del citoplasma. Su tamaño es muy variable ya que pueden medir entre 2 y 8 μm de longitud. Pueden observarse con un microscopio óptico, pero los detalles de su estructura interna pueden verse solo con el microscopio electrónico.

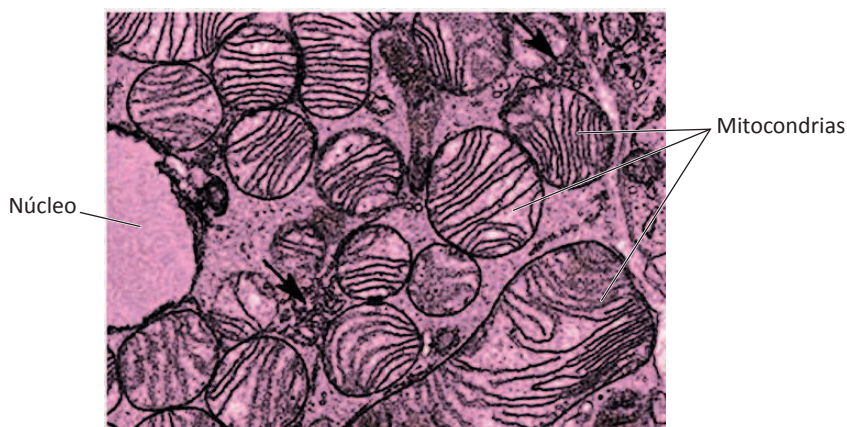


Figura 5.18 Magnífica micrografía electrónica de un conjunto de mitocondrias. Observa los diferentes tamaños y formas que estas presentan.

Las mitocondrias son organelos con gran movilidad, que cambian constantemente de forma y posición. Están presentes en gran número, por ejemplo, una célula hepática (del hígado) puede tener de 1000 a 2000 mitocondrias. El número de mitocondrias presentes en distintos tipos de células es muy variable y puede modificarse según la energía que necesita cada célula.

Cada mitocondria está rodeada por una **membrana doble** que forma dos compartimentos diferentes dentro del organelo: el espacio intermembrana y la matriz. El **espacio intermembrana** es el compartimento formado entre las membranas mitocondriales externa e interna. La **matriz** es el compartimento rodeado por la membrana mitocondrial interna, contiene enzimas que degradan las moléculas alimenticias y convierten su energía a otras formas de energía química.

La **membrana mitocondrial externa** es lisa y permite el paso de muchas moléculas, en cambio, la **membrana mitocondrial interna** tiene muchos pliegues y regula estrictamente el tipo de moléculas que pueden atravesarla. Cada pliegue es llamado **cresta** y se extienden hacia el interior de la matriz. Las crestas aumentan considerablemente el área de la membrana mitocondrial interna proporcionando una superficie para las reacciones químicas que transforman la energía química de las moléculas alimenticias en energía de ATP.

Las mitocondrias participan en el proceso de muerte celular programada llamada apoptosis. Durante el desarrollo, algunas células deben morir para permitir que se formen adecuadamente los tejidos y los órganos. La muerte de células anormales como las cancerosas, también beneficia al organismo. En estos casos, es importante la intervención de las mitocondrias para asegurar la supervivencia celular cuando es adecuada y también para desencadenar la apoptosis, cuando sea necesaria.

La apoptosis tiene lugar cuando se forman poros en la membrana mitocondrial, lo que permite la salida de una proteína llamada citocromo C, hacia el citosol. El citocromo C en el citosol estimula una cascada de reacciones bioquímicas que desembocan en la muerte de la célula por apoptosis.

Las mitocondrias contienen su propio ADN mitocondrial (ADNmt) y ribosomas para producir ARN y algunas proteínas mitocondriales respectivamente.

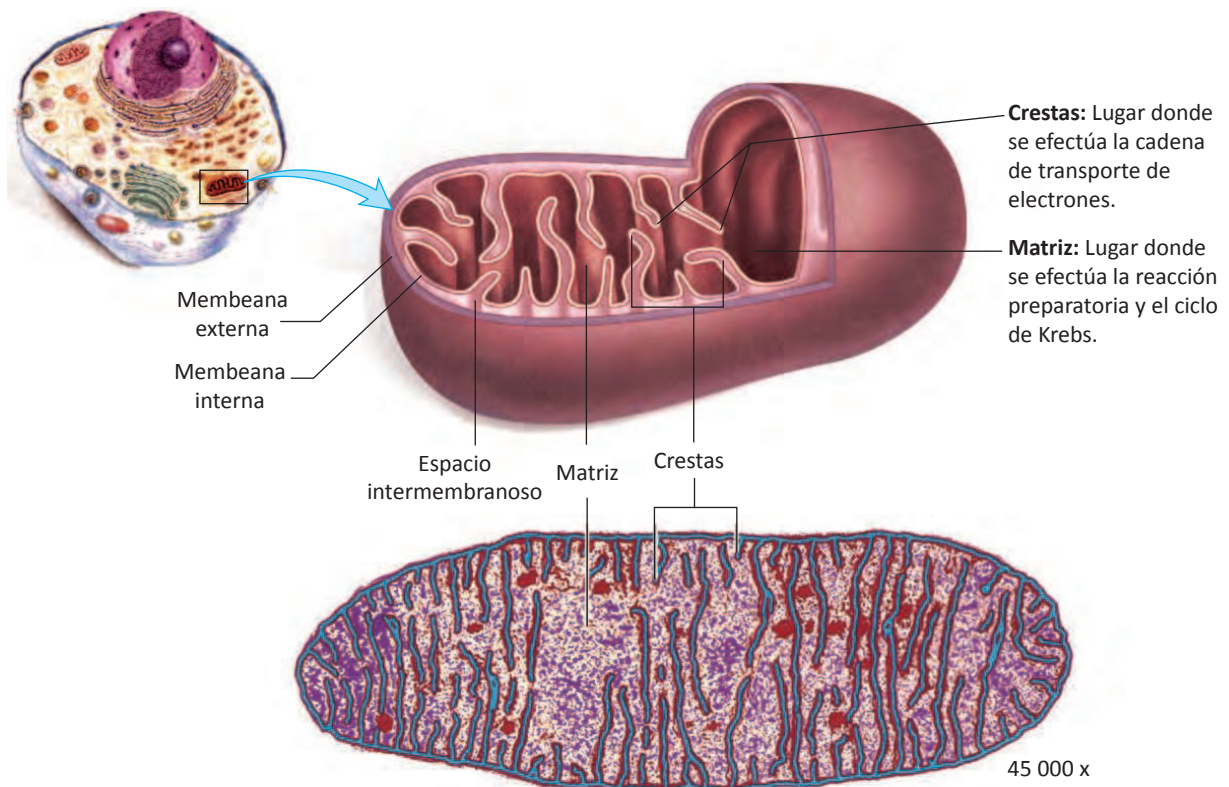


Figura 5.19 Estructura de una mitocondria. La mitocondria está rodeada de doble membrana con un espacio intermembranoso. La membrana interna presenta invaginaciones llamadas crestas. La glucólisis se efectúa en el citoplasma, fuera de la mitocondria. La reacción preparatoria y el ciclo de Krebs ocurren en la matriz mitocondrial. La cadena de transporte de electrones se efectúa en las crestas mitocondriales.

El ADNmt, representa aproximadamente el 1% del ADN total de la célula y se encuentra en forma circular dentro de la matriz mitocondrial. Sin embargo, la mayoría de las proteínas mitocondriales están codificadas por el ADN genómico del núcleo celular.

Las mitocondrias, al igual que los cloroplastos, se reproducen dividiéndose en dos por división o fisión binaria. Como las mitocondrias contienen ADN y se dividen por fisión como lo hacen las bacterias, se cree que tienen un origen bacteriano. Eran bacterias que fueron engullidas por las células eucariotas ancestrales. La teoría endosimbiótica explica el origen de los cloroplastos y las mitocondrias.

El ADN mitocondrial sufre mutaciones con mucha más frecuencia que el ADN nuclear. Las mutaciones del ADN mitocondrial se han asociado con ciertas enfermedades genéticas, como por ejemplo, una forma de ceguera juvenil y ciertos tipos de degeneración muscular progresiva.

Las enfermedades mitocondriales son trastornos que impiden que las mitocondrias produzcan ATP de manera adecuada. Estas alteraciones pueden deberse a mutaciones en el ADNmt o a mutaciones en genes del genoma que codifican proteínas y enzimas mitocondriales. Debido a que las mitocondrias de los espermatozoides no entran en el óvulo fertilizado, estos organelos se heredan exclusivamente de la madre. Por lo tanto, los trastornos del ADNmt, también se heredan sólo de la madre.

Se han descrito más de 40 enfermedades mitocondriales diferentes que comparten la característica común de ver reducida su capacidad para degradar por completo las fuentes de energía como los carbohidratos. Los órganos más afectados en estas enfermedades son los que más ATP consumen, como cerebro, corazón, hígado, músculos esqueléticos y ojos.

Actualmente, no existe cura para estas enfermedades y los tratamientos están diseñados para reducir los síntomas o para prevenir la progresión de la enfermedad.

Respiración celular

Como recordarás, el metabolismo tiene dos fases complementarias, el **catabolismo** que libera energía al degradar moléculas complejas en sus componentes que son más pequeños y el **anabolismo**, que es la síntesis de moléculas complejas a partir de componentes más sencillos. Las reacciones anabólicas dan por resultado la formación de moléculas de proteínas, ácidos nucleicos, lípidos, polisacáridos y otras moléculas que ayudan a mantener la vida de la célula o del organismo. Casi todas las reacciones anabólicas son endergónicas, es decir, absorben energía por lo que requieren de alguna forma de energía que las impulse, como lo es el ATP.



Figura 5.20 Las moléculas orgánicas que ingerimos, son degradadas y transportadas a todas las células, ahí, se convierte la energía de los enlaces químicos de los nutrientes en energía química almacenada en el ATP.

Todo organismo (unicelular y pluricelular) debe extraer energía de las moléculas de alimento que toma del ambiente o que sintetiza el mismo.

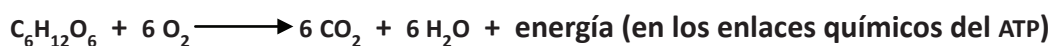
Los seres humanos obtenemos moléculas orgánicas de una dieta muy variada animal y vegetal. ¿Cómo se obtiene energía de estas moléculas orgánicas? En primer lugar, las moléculas complejas de alimento se degradan mediante la digestión hasta componentes más simples que son absorbidos en la sangre y transportados a todas las células. Los procesos catabólicos que convierten la energía de los enlaces químicos de los nutrientes en energía química almacenada en el ATP tienen lugar dentro de las células, por lo general mediante un proceso conocido como **respiración celular**.

Cabe aclarar que se emplea el término *respiración celular* para distinguirla de la *respiración a nivel del organismo*, es decir, el proceso de intercambio de gases, liberación de dióxido de carbono y consumo de oxígeno, entre los pulmones o las branquias y el medio ambiente. La sangre transporta oxígeno de los pulmones a los tejidos del cuerpo y lleva dióxido de carbono (producto de desecho de la respiración celular) en dirección contraria.

La mayoría de los eucariontes y procariontes realizan la **respiración aerobia**, una forma de respiración celular que requiere oxígeno molecular (O_2). Durante la respiración aerobia, los nutrientes se catabolizan hasta dióxido de carbono y agua. La mayoría de las células emplean la respiración aerobia para obtener energía a partir de la glucosa, que entra a la célula a través de una proteína de transporte específica de la membrana plasmática, mediante difusión facilitada (ver figura 2.14).

El alimento contiene mucha energía. Al arder en presencia de oxígeno, un gramo del azúcar glucosa ($C_6H_{12}O_6$) libera 3, 811 calorías. Una caloría es la cantidad de energía necesaria para que un gramo de agua aumente su temperatura en 1 grado centígrado. La caloría (con “C” mayúscula) que aparece en las etiquetas de los alimentos empaquetados, equivale a una kilocaloría (1000 calorías). Por supuesto, las células no “quemar” la glucosa. Por el contrario, liberan gradualmente la energía de la glucosa y otros compuestos alimentarios. Al proceso que libera energía al descomponer las moléculas de alimentos en la presencia de oxígeno, se le conoce como **respiración celular**.

La ruta global de reacción para la respiración celular de la glucosa se resume:



Las tres etapas de la respiración celular son:

- **Glucólisis**. En el citoplasma.
- **El ciclo de Krebs**. En la matriz mitocondrial.
- **La cadena de transporte de electrones**. En las crestas mitocondriales.

En los **eucariontes**, la primera etapa de la respiración celular, la glucólisis, se realiza en el **citoplasma**, y las dos etapas siguientes tienen lugar en el **interior de las mitocondrias**: crestas y matriz. La mayoría de los procariontes (las eubacterias y arqueobacterias) también efectúan estos procesos, pero como sus células no poseen mitocondrias, todas las etapas se llevan a cabo en el **citoplasma** y en asociación con la **membrana plasmática**.

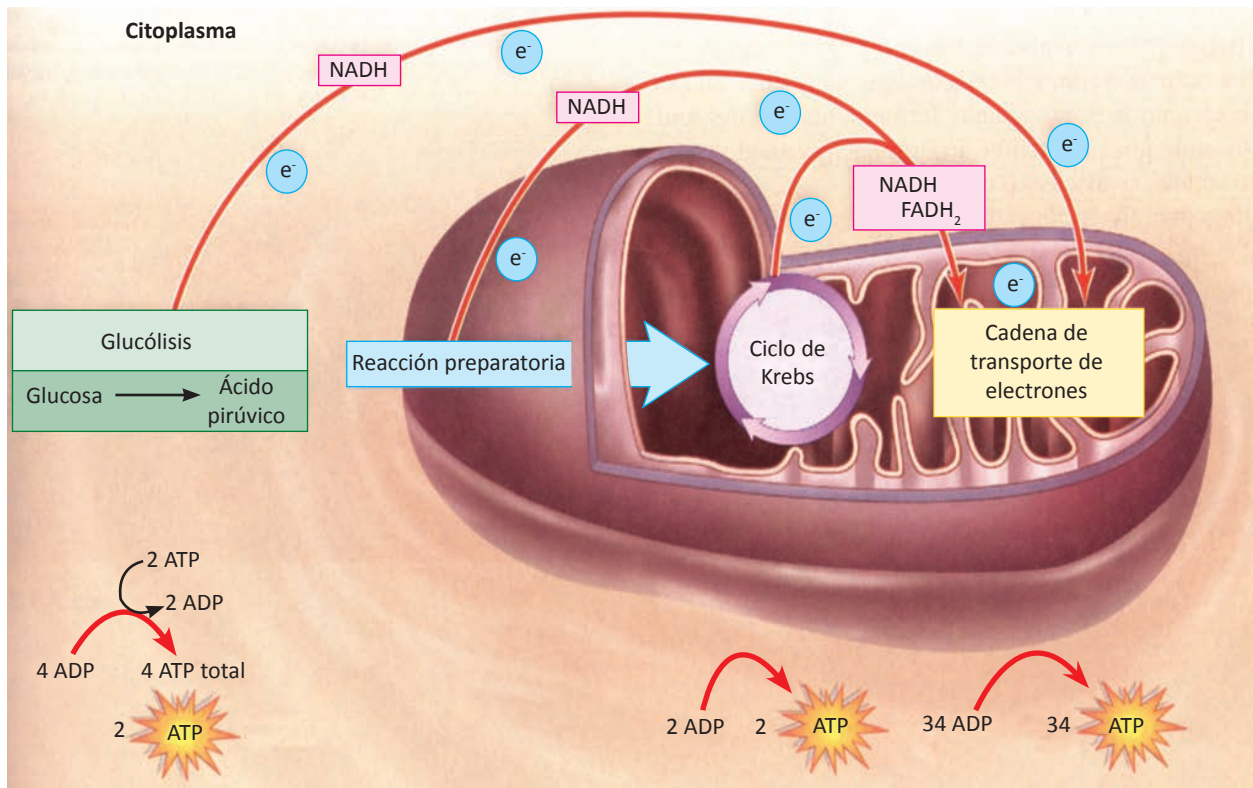


Figura 5.21 Esquema de la respiración celular.

Glucólisis

El término glucólisis deriva del griego *glukus* que significa dulce y el vocablo latino *lysis* que indica descomponer. Por consiguiente, glucólisis significa “descomponer glucosa”.

En esta primera etapa de la respiración celular, que se efectúa en el citoplasma, una molécula de glucosa se divide por la mitad y produce **dos moléculas de ácido pirúvico**, un compuesto de 3 carbonos.

En presencia de oxígeno, la glucólisis conduce a otros dos procesos, el ciclo del ácido cítrico y el transporte de electrones, que liberan gran cantidad de energía. Cuando no hay oxígeno, a la glucólisis le sigue una vía diferente.

La glucólisis se estudia en dos pasos:

- **Producción de ATP.** Aunque la glucólisis es un proceso de liberación de energía, la célula necesita aportar un poco de energía para impulsar el proceso. Al inicio de esta vía, se consumen 2 moléculas de ATP. De cierta forma, esas dos moléculas de ATP son como una inversión que rendirá intereses. Con el fin de obtener ganancias de tu banco, primero debes depositar dinero en una cuenta. Aunque la célula aporta 2 moléculas de ATP a la “cuenta” que hace funcionar la glucólisis, cuando termina el proceso se han producido 4 moléculas de ATP. Esto da a la célula una **ganancia neta de 2 moléculas de ATP**.

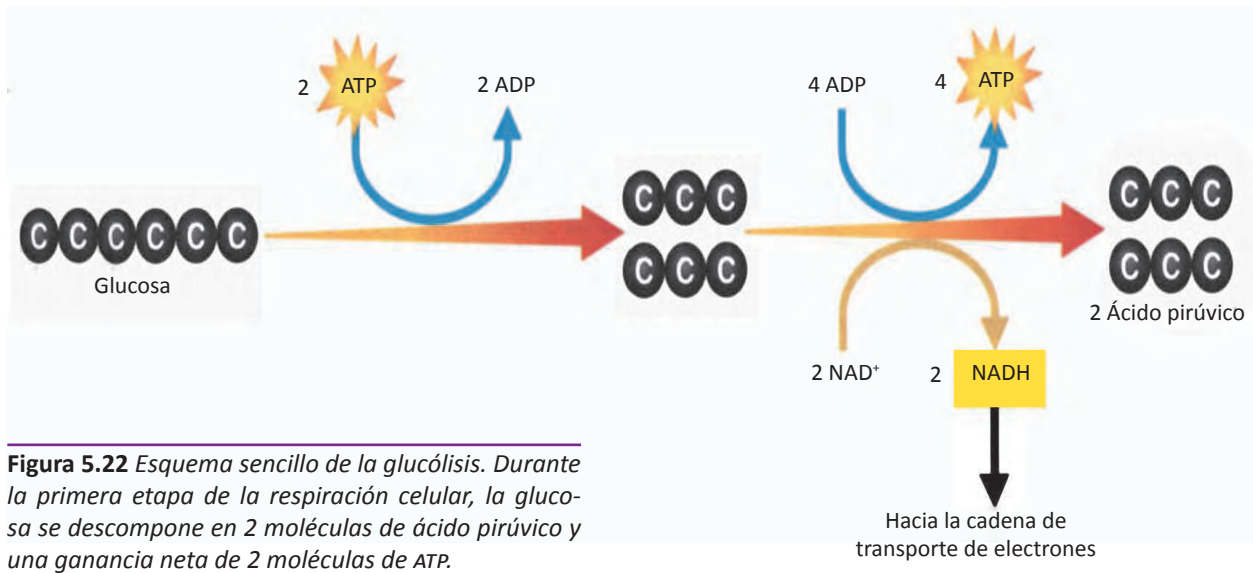


Figura 5.22 Esquema sencillo de la glucólisis. Durante la primera etapa de la respiración celular, la glucosa se descompone en 2 moléculas de ácido pirúvico y una ganancia neta de 2 moléculas de ATP.

- Producción de NADH.** Una de las reacciones de la glucólisis retira 4 electrones de alta energía y los transfiere a un transportador de electrones llamado NAD^+ (dinucleótido de adenina y nicotinamida). Al igual que el NADP^+ en la fotosíntesis, cada NAD^+ acepta un par de electrones de alta energía y se transforma en NADH , esta molécula retiene a los electrones hasta que puede transferirlos a otras moléculas. De este modo, NADH ayuda a pasar energía de la glucosa a otros procesos en el interior de la célula.

Aunque la glucólisis libera sólo una pequeña cantidad de energía (2 ATP), el proceso es tan rápido que las células pueden producir miles de moléculas de ATP en unos cuantos milisegundos. Además de la rapidez, otra ventaja de la glucólisis es que no requiere oxígeno. Esto significa que la glucólisis puede proporcionar energía química a las células aunque no haya oxígeno disponible. Cuando una célula produce grandes cantidades de ATP mediante la glucólisis, surge un problema. En cuestión de segundos, todas las moléculas de NAD^+ disponibles en la célula se llenan de electrones y sin NAD^+ , la célula no puede continuar con la glucólisis y se interrumpe la producción de ATP.

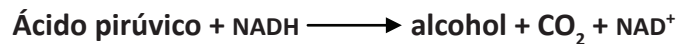
Fermentación

En ausencia de oxígeno, a la glucólisis le sigue una vía diferente, la **fermentación**: proceso que libera energía de las moléculas de alimento mediante la producción de ATP. Durante la fermentación, las células convierten NADH en NAD^+ devolviendo electrones de alta energía al ácido pirúvico. Esto vuelve a transformar NADH en el transportador de electrones NAD^+ , provocando que la glucólisis siga produciendo una cantidad constante de ATP. Como la fermentación no requiere de oxígeno, se trata de un proceso **anaeróbico**.

Los principales tipos de fermentación son la **fermentación alcohólica** y la **fermentación láctica**.

Fermentación alcohólica

Por medio de este tipo de fermentación, las levaduras que son hongos unicelulares y algunos otros microorganismos producen **alcohol etílico** (etanol) y **dióxido de carbono** como productos de desecho. La ecuación de la fermentación alcohólica después de la glucólisis es:



Cuando las levaduras de la masa se quedan sin oxígeno, empieza a fermentar produciendo burbujas de dióxido de carbono, que forman las cavidades o huecos de gas (que lo hacen esponjoso) que puedes observar en una rebanada de pan. El dióxido de carbono que se produce mediante la fermentación alcohólica provoca que suba la masa del pan. La pequeña cantidad de alcohol que se produce en la masa, se evapora al hornear el pan.

El CO_2 también es importante en la elaboración de ciertos tipos de quesos. Otros productos de la fermentación alcohólica son: tepache, tuba, tejuino y las demás bebidas alcohólicas. En estas, el producto de la fermentación alcohólica que interesa es precisamente el alcohol etílico.

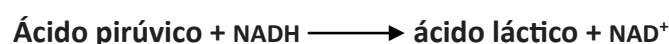


Figura 5.23 Algunos productos de la fermentación alcohólica.

Fermentación láctica

En este tipo de fermentación, el ácido pirúvico que se acumula como producto de la glucólisis es transformado en **ácido láctico**. Como en este proceso se produce ácido láctico, es llamada **fermentación láctica**. Este proceso regenera NAD^+ para que la glucólisis pueda continuar, como se muestra en la figura 5.24.

La ecuación de la fermentación láctica, después de la glucólisis es:



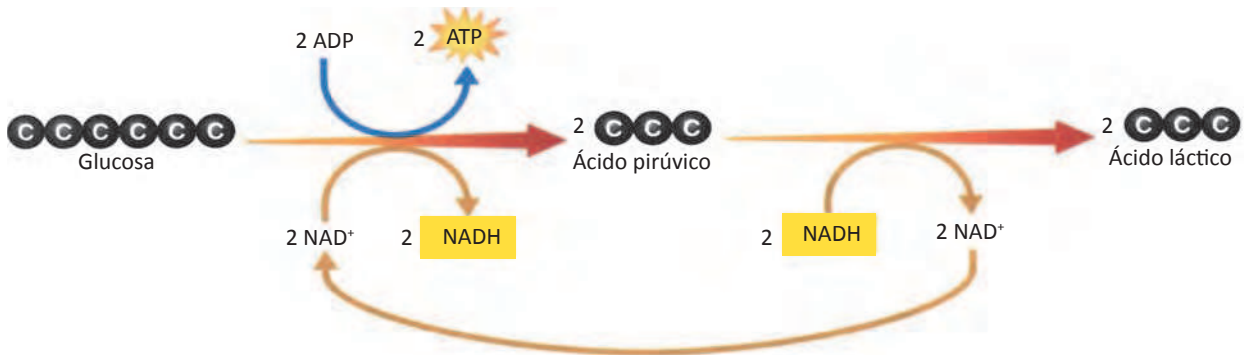


Figura 5.24 La fermentación láctica convierte la glucosa en ácido láctico. La primera parte de la ecuación es la glucólisis. La segunda, muestra la conversión del ácido pirúvico (producto de la glucólisis) en ácido láctico.

Los músculos producen ácido láctico durante el ejercicio rápido, cuando el organismo no puede proporcionar suficiente oxígeno a los tejidos. Cuando existe poco oxígeno, el organismo no puede producir todo el ATP que se requiere. Cuando realizas un ejercicio intenso como correr, nadar o montar en bicicleta tan rápido como puedes, los músculos de tus brazos y piernas agotan rápidamente el oxígeno. Las células musculares aceleran su producción de ATP mediante la fermentación láctica. La acumulación de ácido láctico puede provocar una sensación dolorosa y de ardor. Es por eso que te duelen los músculos después de unos segundos de actividad intensa.



Figura 5.25 La acumulación de ácido láctico puede provocar una sensación dolorosa y de ardor. Es por eso que te duelen los músculos después de una actividad intensa.

Los organismos unicelulares también producen ácido láctico como producto de desecho de la fermentación. Por ejemplo, las eubacterias se utilizan en la producción de gran variedad de alimentos y bebidas como yogurt, crema agria, pepinillos, col agria, kimchi, etc.



Figura 5.26 Algunos alimentos producto de la fermentación láctica.

Después de que se realiza la glucólisis, cerca del 90% de la energía química de la glucosa sigue sin usarse y permanece encerrada en los electrones de alta energía del ácido pirúvico. A fin de extraer toda esa energía, la célula recurre a uno de los aceptores de electrones más poderosos: el oxígeno, este es necesario para las etapas finales de la respiración celular. Como el oxígeno es necesario para los procesos de respiración celular, se dice que los procesos son **aeróbicos**.

Ciclo de Krebs

En presencia de oxígeno, el ácido pirúvico producido en la glucólisis, pasa a la segunda etapa de la respiración celular, el **ciclo del ácido cítrico**, conocido también como **ciclo de Krebs**. Este ciclo recibe el nombre del bioquímico británico Hans Krebs quien lo descubrió en 1937.

Durante el ciclo de Krebs, el ácido pirúvico se descompone en CO_2 mediante una serie de reacciones que extraen energía. Al ciclo de Krebs también se le llama ciclo del ácido cítrico debido a que el primer compuesto que se forma en esta serie de reacciones es precisamente el ácido cítrico.

El ciclo de Krebs se describe a continuación en dos pasos:

A. Producción de ácido cítrico

El ciclo de Krebs comienza cuando el ácido pirúvico producido en la glucólisis entra en la **matriz de la mitocondria**. Un átomo de carbono del ácido pirúvico pasa a formar parte de una molécula de dióxido de carbono. Los otros dos átomos de carbono del ácido pirúvico, se unen a un compuesto llamado coenzima A, para producir acetil-coenzima A (acetil-CoA).

A continuación, el acetil-CoA agrega el grupo acetil de 2 carbonos a una molécula de 4 carbonos, produciendo una molécula de 6 carbonos, conocida como ácido cítrico.

B. Extracción de energía

Al continuar el ciclo, el ácido cítrico (de 6 átomos de carbono) se descompone en una molécula de 5 carbonos porque se elimina una molécula de CO_2 , en seguida se elimina otra molécula de CO_2 y queda una molécula de 4 carbonos. Mientras esto sucede, los electrones se transfieren a los transportadores de energía NAD^+ y FAD (dinucleótido de flavina y adenina). Sigue las reacciones en la figura 5.29. Primero observa los 6 átomos de carbono del ácido



Figura 5.27 Hans Krebs recibió el premio Nobel en 1953 por haber descubierto el ciclo del ácido cítrico (ciclo de Krebs).

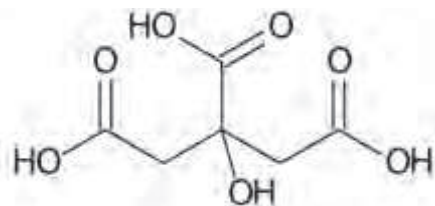


Figura 5.28 Estructura de la molécula del ácido cítrico, primer compuesto que se forma en el ciclo de Krebs.

cítrico, la eliminación de un átomo de carbono (en el CO_2 que se libera), quedando una molécula de 5 átomos de carbono de la que se elimina otro átomo de carbono (en el siguiente CO_2 que se libera) quedando una molécula de 4 átomos de carbono. Esta molécula de 4 carbonos está lista para recibir otro grupo acetil de dos carbonos, que inicia de nuevo el ciclo.

Como cada glucosa mediante la glucólisis produce dos ácidos pirúvicos, y cada uno de ellos mediante la reacción preparatoria forman acetil-CoA. Cada acetil-CoA que entra al ciclo de Krebs produce un ATP, dando un total de 2 ATP (uno por cada acetil-CoA).

Luego, busca el ATP y por último, observa los transportadores de electrones: NAD^+ aparece cuatro veces y FAD solo una vez. Estos transportadores de electrones aceptan un par de electrones de alta energía, transformando NAD^+ en NADH y FAD en FADH_2 .

¿Qué sucede con estos productos del ciclo de Krebs? El CO_2 liberado en este ciclo, es el que expulsas cada vez que exhalas. El ATP que se produce en este ciclo es usado en actividades celulares. Pero, ¿qué hace la célula con todos los electrones de alta energía que contienen los transportadores como NADH ? En presencia de oxígeno esos electrones sirven para generar enormes cantidades de ATP.

A. Producción de ácido cítrico

Cuando el ácido pirúvico entra en la mitocondria, pierde un carbono para formar CO_2 , sus electrones son eliminados, y NAD^+ se convierte en NADH . La coenzima A se une a la molécula de 2 carbonos produciendo acetil-CoA. A continuación, acetil-CoA añade el grupo acetil de 2 carbonos a un compuesto de 4 carbonos para producir ácido cítrico.

B. Extracción de energía

El ácido cítrico se descompone en un compuesto de 5 carbonos, y luego en un compuesto de 4 carbonos. Mientras esto ocurre, se liberan otras dos moléculas de CO_2 y los electrones se ligan a NAD^+ y FAD para formar NADH y FADH_2 . Además, se genera una molécula de ATP. La cuenta energética total de una molécula de ácido pirúvico es 4 NADH , 1 FADH_2 , y 1 molécula de ATP.

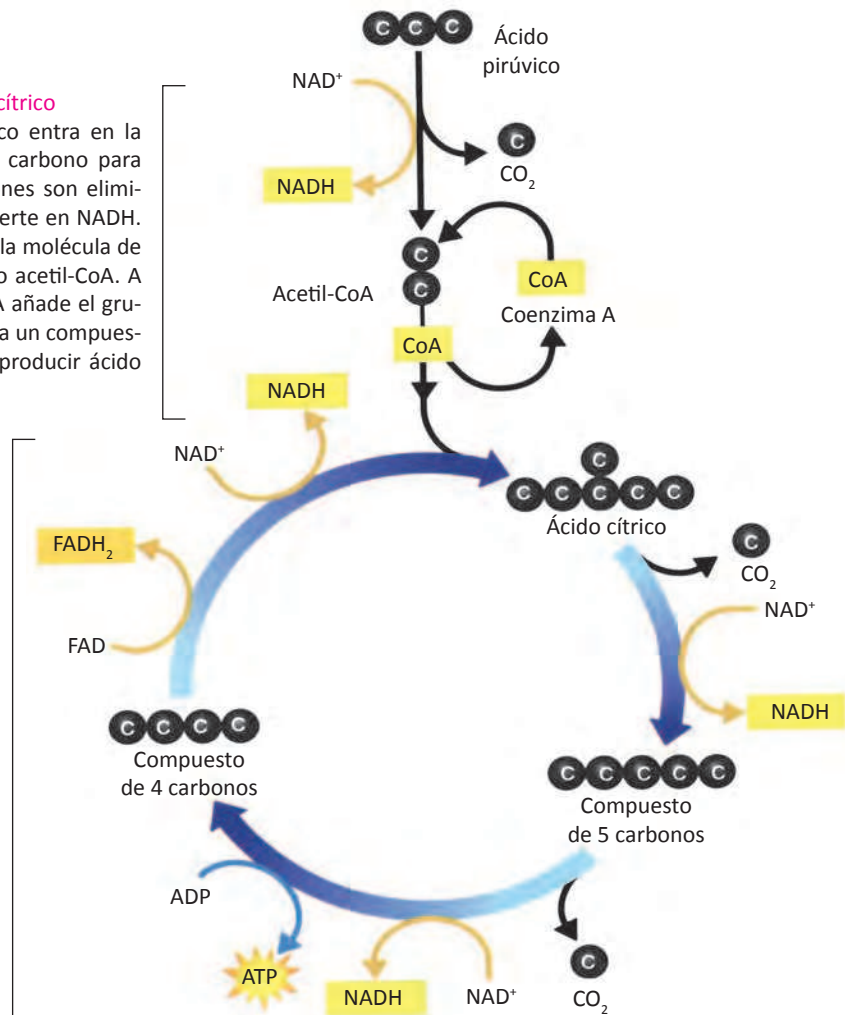


Figura 5.29 La cadena de transporte de electrones utiliza los electrones de alta energía producidos en el ciclo de Krebs, para convertir ADP en ATP.

Cadena de transporte de electrones

El ciclo de Krebs genera electrones de alta energía que pasan a NADH y FADH₂. Los electrones de alta energía pasan de estos transportadores a la cadena de transporte de electrones. Esta cadena usa los electrones de alta energía del ciclo de Krebs para convertir ADP en ATP. Observa la figura 5.30 para ver cómo sucede esto.

A. Transporte de electrones

Los electrones de alta energía de NADH y FADH₂ pasan por la cadena de transporte de electrones. En las células eucariotas, esta cadena está constituida de una serie de proteínas transportadoras ubicadas en las **crestas de la mitocondria** (membrana interna). En las células procariotas, la misma cadena se localiza en la membrana celular. Los electrones de alta energía pasan de una proteína transportadora a la siguiente. Al final de la cadena de transporte de electrones se encuentra una enzima que combina estos electrones con iones hidrógeno (H⁺) y oxígeno (O₂), para formar H₂O. El oxígeno es el aceptor de electrones en esta cadena. Por ello, el oxígeno es fundamental para eliminar electrones de baja energía así como también de iones hidrógeno, productos de desecho de la respiración celular.

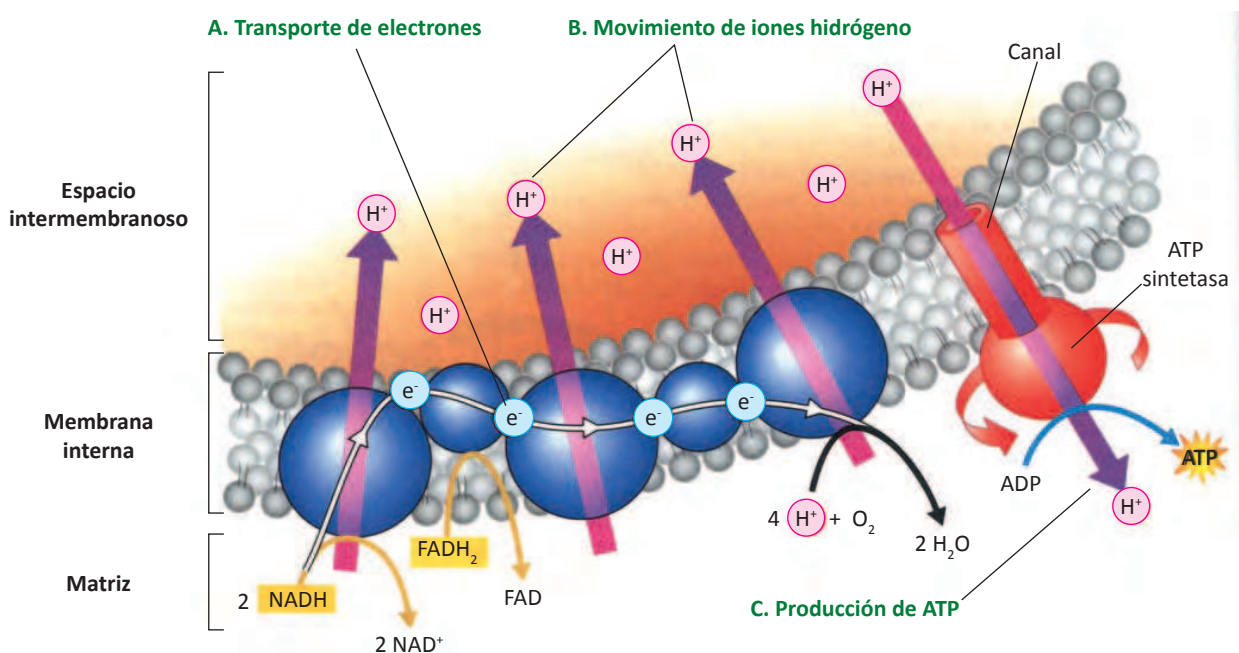


Figura 5.30 La cadena de transporte de electrones utiliza los electrones de alta energía producidos en el ciclo de Krebs, para convertir ADP en ATP.

B. Movimiento de iones hidrógeno

Cada vez que dos electrones de alta energía pasan a lo largo de la cadena de transporte de electrones, su energía se utiliza para transportar H⁺ a través de la membrana hacia el espacio intermembranoso de la mitocondria. Los H⁺ se acumulan en dicho espacio, confiriéndole una carga positiva. El otro lado de la membrana interna, de donde salieron esos H⁺, posee ahora una carga negativa.

C. Producción de ATP

La diferencia de cargas que ocurren como consecuencia del transporte de electrones, es utilizada por las membranas internas de las mitocondrias que poseen las enzimas llamadas ATP sintetasas. Cuando los H^+ escapan por los canales hacia las ATP sintetasas (ahora hacia el interior), estas giran y con cada giro atrapan un ADP de baja energía y lo ligan a un fosfato, **formando ATP de alta energía**. La perfección de este sistema esta en la forma como combina el movimiento de electrones de alta energía con la producción de ATP. Cada vez que un par de electrones de alta energía se desplaza a lo largo de la cadena de transporte de electrones, la energía se aprovecha para desplazar H^+ hacia el espacio intermembranoso de la mitocondria. Estos iones se regresan rápidamente cruzando la membrana interna, generando suficiente fuerza para hacer que gire la ATP sintetasa y de estas manera producir enormes cantidades de ATP.

La respiración celular se resume en la siguiente ecuación:

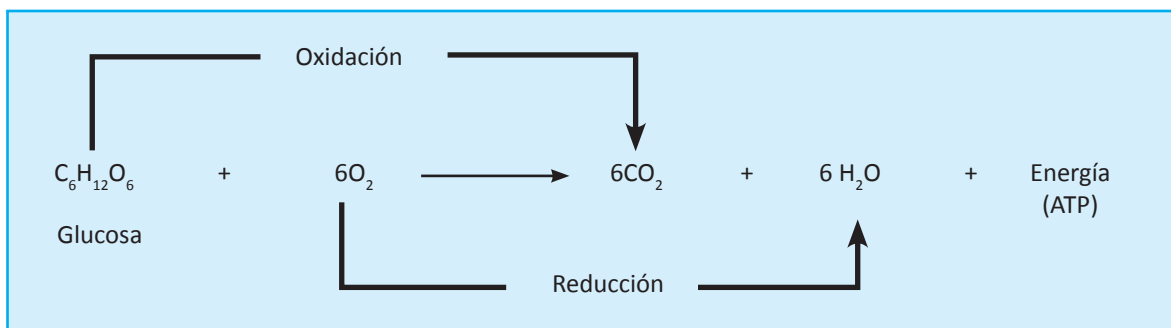


Figura 5.31 En la respiración celular, la glucosa es oxidada y el oxígeno es reducido.

La oxidación completa de una molécula de glucosa mediante la respiración aerobia genera **un máximo de 38 moléculas de ATP** producidas de la siguiente manera:

- **2 ATP en la glucólisis**, porque se producen 4 ATP en total, pero se gastan 2 ATP, dando una producción o ganancia neta de **2 ATP**.
- **2 ATP en el ciclo de Krebs**, debido a que por cada molécula de acetil-CoA que entra al ciclo se producen $2CO_2$, 3 NADH, 1 $FADH_2$ y 1 ATP. Pero como son dos moléculas de acetil-CoA por cada molécula de glucosa, entonces se producen el doble de cada tipo de molécula ($4CO_2$, 6 NADH, 2 $FADH_2$ y **2 ATP**).
- **34 ATP** en la cadena de transporte de electrones, porque se generan 3 moléculas de ATP por cada NADH y como son 10 moléculas totales de NADH, entonces son **30 ATP**. La oxidación de cada molécula de $FADH_2$, genera 2 moléculas de ATP y como son dos $FADH_2$ que se incorporan a la cadena de transporte de electrones, da un total de **4 ATP**.

Las 38 moléculas de ATP que produce la célula por cada molécula de glucosa mediante la respiración celular (glucólisis, ciclo de Krebs y transporte de electrones) representan alrededor del 38% de la energía total contenida en la glucosa ya que el 62% restante se libera en forma de calor, que es una de las razones por las que sientes calor después de hacer ejercicio rápido.

El cloroplasto y la mitocondria están constituidos por membranas con enzimas ensambladas en cadena. Ambos organelos desempeñan papeles centrales en la cosecha de la energía y en hacerla disponible para el trabajo celular. Como se muestra en la figura 5.32, los cloroplastos en los organismos fotosintéticos utilizan la energía solar para fabricar glucosa a partir del dióxido de carbono y del agua. Durante el proceso de la fotosíntesis, la energía lumínica es convertida en energía química y el oxígeno gaseoso se escapa como subproducto. Las mitocondrias presentes en todos los eucariotas, consumen el oxígeno durante la respiración celular, y utilizan la energía química almacenada en la glucosa para fabricar ATP.

Casi toda la energía química que utilizan los organismos proviene en última instancia de la luz solar. Ningún animal puede realizar la fotosíntesis por lo que obtienen la energía alimentándose de vegetales. Otros, como la luciérnaga la obtienen al alimentarse de otros animales. En cualquiera de los casos, la energía química fue derivada originalmente de la luz solar por medio de la fotosíntesis.

Aún el oxígeno que liberan las plantas no se pierde sino que permanece disponible en el aire para ser usado por las mitocondrias.

Los productos de la fotosíntesis ($C_6H_{12}O_6$ y O_2) son los reactivos de la respiración celular. Los productos de la respiración celular (CO_2 y H_2O) son los reactivos de la fotosíntesis, de esta manera existe un reciclado químico. Sin embargo la energía no se recicla sino que fluye. Al desarrollar las actividades de la vida, los organismos disipan parte de la energía en el ambiente bajo la forma de calor. Esto constituye una pérdida de energía, ya que el calor no puede ser utilizado para la fabricación de ATP. Por esta razón, los organismos deben recibir un suministro de energía constante.

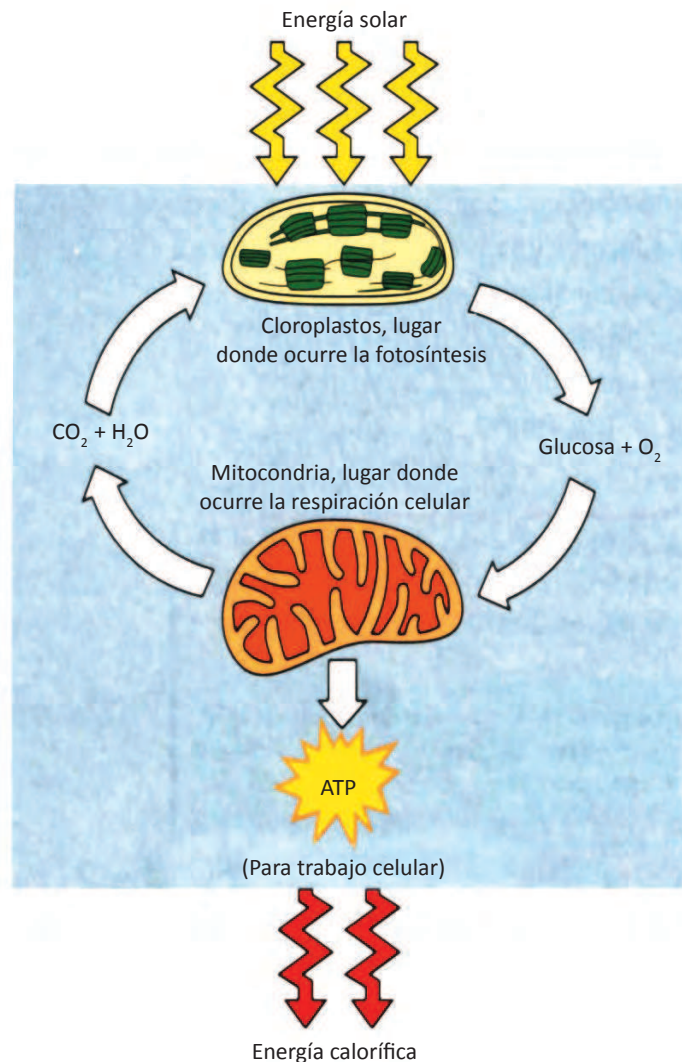


Figura 5.32 Flujo de energía y reciclado químico. Los cloroplastos y las mitocondrias producen energía disponible para el trabajo celular.

AUTOEVALUACIÓN

Repaso de la unidad

Contesta lo que se te pide

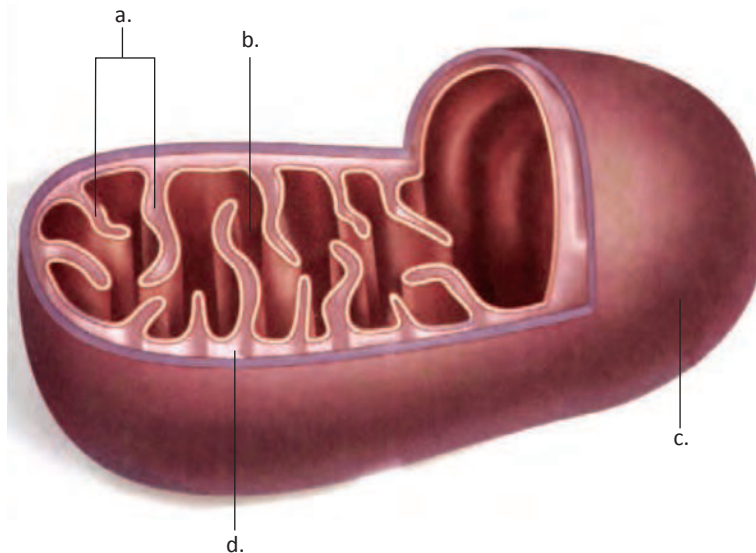
1. ¿Por qué las plantas necesitan luz solar?

2. Las reacciones dependientes de la luz, además de producir oxígeno gaseoso, convierten ADP y NADP⁺ en _____ y _____.

3. ¿Por qué los animales no realizan la fotosíntesis? Explica

4. ¿Cuál es la función de la ATP sintetasa en la respiración celular?

5. Escribe los nombres a las partes señaladas en la mitocondria: membrana externa, crestas, espacio intermembranoso y estroma.



a. _____

b. _____

c. _____

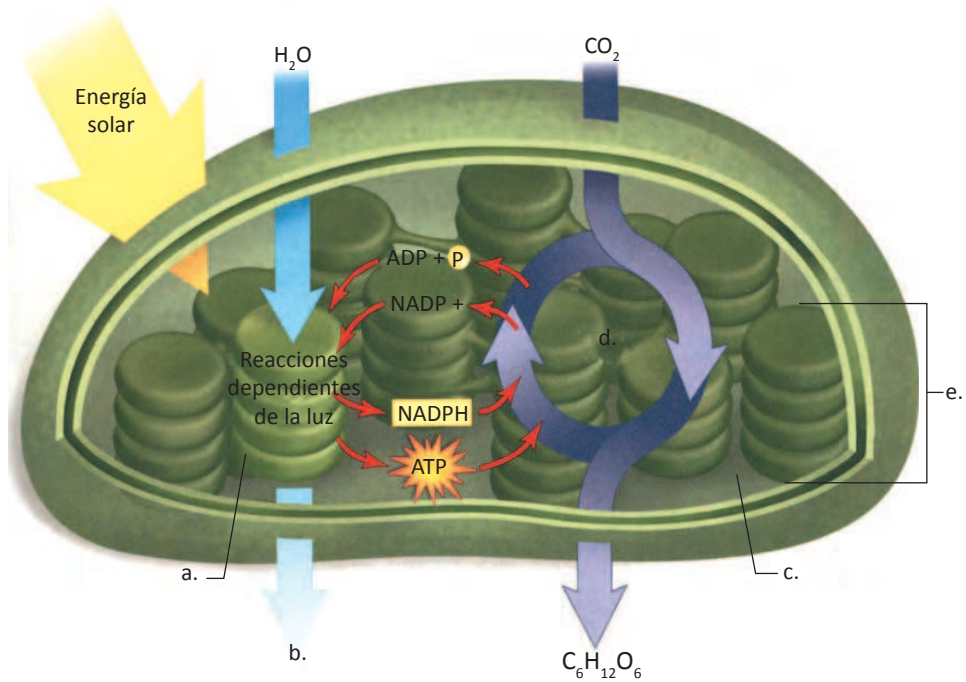
d. _____

6. ¿Cuántos ATP se producen en la glucólisis? _____ Explica

7. ¿Qué reacción preparatoria requiere el ácido pirúvico para iniciar el ciclo de Krebs?

8. ¿Cuántos ATP se producen en el ciclo de Krebs? _____ Explica

9. Completa los nombres y moléculas en el siguiente dibujo del cloroplasto: Ciclo de Calvin, O₂, membrana tilacoide, grana, estroma.



- a. _____
- b. _____
- c. _____
- d. _____
- e. _____

10. Explica la relación que existe entre cloroplasto y mitocondria.

Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f)

1. Los tilacoides son más grandes que las grana. ()
2. Los cloroplastos poseen ADN. ()
3. La fotosíntesis es realizada únicamente por células vegetales. ()
4. La clorofila es el principal pigmento fotosintético. ()
5. Las reacciones dependientes de la luz se realizan en los tilacoides de los cloroplastos. ()
6. Cada pliegue de la membrana externa de la mitocondria se llama cresta. ()
7. Cuando las levaduras de la masa del pan se queda sin oxígeno, inicia la fermentación alcohólica. ()
8. Cuando las levaduras de la masa del pan se queda sin oxígeno, inicia la fermentación alcohólica. ()
9. Las mitocondrias poseen doble membrana y los cloroplastos sólo una. ()
10. Los organismos fotosintéticos utilizan moléculas de baja energía, para realizar la fotosíntesis. ()

Selecciona la opción correcta

1. Además de CO_2 y clorofila la fotosíntesis requiere:

- | | |
|------------------------|--------------|
| a. Oxígeno | b. Luz |
| c. Agua | d. Nitrógeno |
| e. b y c son correctas | |

2. Las moléculas que se producen mediante el ciclo de Calvin son:

- | | |
|--|--|
| a. ADP, NADP^+ y O_2 | b. ATP, NADP^+ y O_2 |
| c. ATP, NADPH y O_2 | d. ATP, NADPH y CO_2 |
| e. Azúcares y otras moléculas | |

3. En los eucariontes, la glucólisis se realiza en:

- | | |
|----------------------------|------------------------|
| a. Crestas mitocondriales | b. Matriz mitocondrial |
| c. Espacio intermembranoso | d. Citoplasma |
| e. Ninguna es correcta | |

4. Las reacciones dependientes de la luz se realizan en:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| a. Membrana tilacoide de los cloroplastos | b. Estroma de los cloroplastos |
| c. Membrana externa del cloroplasto | d. Membrana interna del cloroplasto |
| e. c y d son correctas | |

5. Este proceso utiliza ATP y NADPH proveniente de las reacciones dependientes de la luz, para producir azúcares:
- Ciclo de Krebs
 - Ciclo de Calvin
 - Ciclo del ácido cítrico
 - Ciclo de los ácidos tricarbónicos
 - a, c y d son correctas
6. En el ciclo de Calvin, 6 moléculas de CO_2 producen:
- Una molécula de 6 átomos de carbono rica en energía
 - Un monosacárido de 6 átomos de carbono
 - Un azúcar de 6 átomos de carbono
 - Una glucosa
 - Todas son correcta
7. La membrana mitocondrial externa:
- Es lisa
 - Permite el paso de muchas moléculas
 - Tiene muchos pliegues
 - Regula estrictamente el tipo de moléculas
 - a y b son correctas
8. ¿Cuántas moléculas de ATP se generan por cada molécula de NADH en el transporte de electrones?
- 1
 - 3
 - 36
 - 10
 - 2
9. ¿Cuáles son los posibles productos de la fermentación?
- Ácido láctico
 - Alcohol
 - Dióxido de carbono
 - Oxígeno
 - a, b y c son correctas

10. Proceso metabólico que produce la mayor cantidad de moléculas de ATP:















- a. Glucólisis
- b. Ciclo del ácido cítrico
- c. Cadena de transporte de electrones
- d. Fermentación
- e. Ciclo de Krebs

En la siguiente sopa de letras, localiza lo que se te pide:

- 1. Son pilas de tilacoides.
- 2. Es producido mediante las reacciones dependientes de la luz.
- 3. Es otro nombre que recibe el ciclo del ácido cítrico.
- 4. Este ciclo se efectúa en el estroma de los cloroplastos.
- 5. Este proceso se lleva a cabo en el citoplasma produciendo dos moléculas de ATP.
- 6. Organelo en el que se realiza la respiración celular.
- 7. Fermentación en la que se produce etanol y dióxido de carbono.

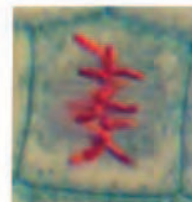
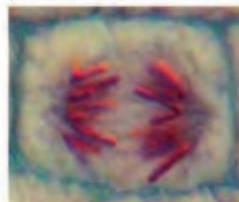
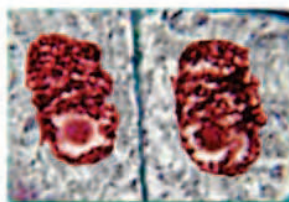
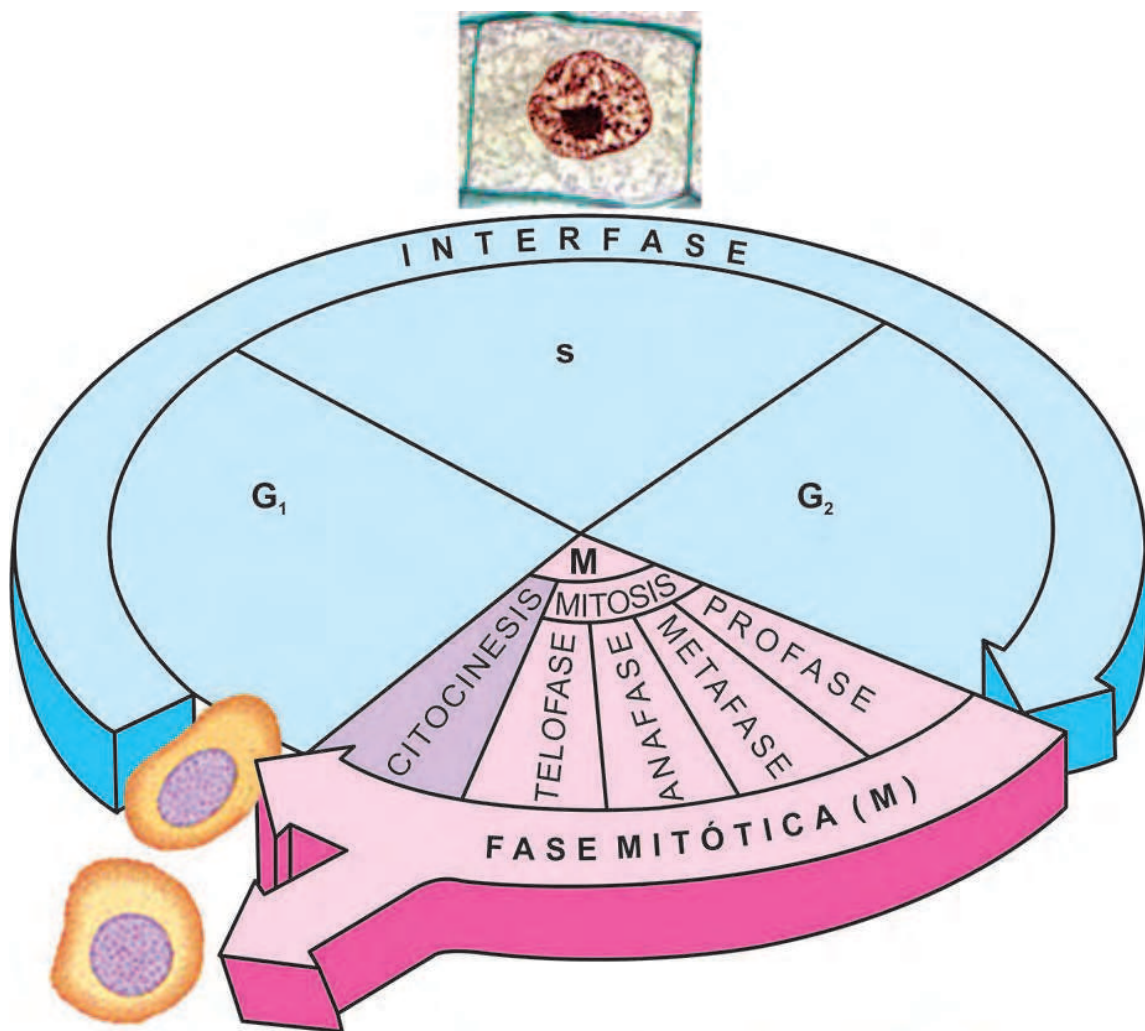
A	L	C	O	H	O	L	I	C	A
R	I	B	T	O	N	U	C	L	M
C	L	O	N	G	A	L	A	C	I
A	U	X	I	L	I	A	G	O	T
L	U	I	G	U	R	E	R	I	O
V	A	G	O	C	U	Y	A	S	C
I	R	E	M	O	S	A	N	R	O
N	U	N	C	L	A	O	A	G	N
E	S	O	D	I	R	A	B	A	D
S	C	E	D	S	U	R	O	E	R
E	S	T	R	I	B	A	U	N	I
K	R	E	B	S	I	L	A	N	A

Completa la siguiente tabla.

Estructura celular	Ejemplo	Función	Tipo de célula
Pared celular			Células vegetales, células de hongos y algunos procariontes
		Organelos que se disponen en pares y de gran importancia para la división celular	Células animales y la mayoría de las células de protistas
		Organelo de doble membrana con tilacoides que contienen clorofila, dentro de la cual ocurre la fotosíntesis	
Cilios		Proyecciones de la superficie celular que ayudan en la locomoción y alimentación, también usados para barrer sustancias de las superficies	Algunas células animales, células de protistas y procariontes
			Todas las células eucarióticas
		Membrana con gran cantidad de pliegues donde ocurre la síntesis proteica	
Flagelos			Algunas células animales, procariontes y algunas células vegetales
		Pila aplanada de membranas tubulares que modifica y empaca proteínas para distribuirlas fuera de la célula	
Lisosoma			Células animales únicamente
			Todas las células eucarióticas
		Centro de control de la célula que contiene los códigos que dirigen la síntesis de proteínas y la división celular	
Membrana plasmática			
		Organelo donde se lleva a cabo la síntesis de proteínas	Todas las células
Vacuola			De gran tamaño en células vegetales y mucho más pequeña en células animales

UNIDAD 6

CONTROL DE FUNCIONES CELULARES Y REPRODUCCIÓN



Núcleo

El núcleo es el organelo más voluminoso en las células eucarióticas, está delimitado por una **envoltura nuclear** formada por dos membranas concéntricas.

Generalmente el núcleo ocupa una posición central, en las células. Su forma es variable, puede ser redondo, ovalado o elíptico, como en las neuronas. Presenta un diámetro aproximado de 5 μm . La mayoría de las células poseen un solo núcleo (uninucleadas), pero algunas tienen más de un núcleo, por ejemplo, el género de protozoarios *Opalina* tiene cientos de núcleos.

En todas las células humanas existe un núcleo con excepción de los glóbulos rojos, pero también hay células binucleadas y plurinucleadas.

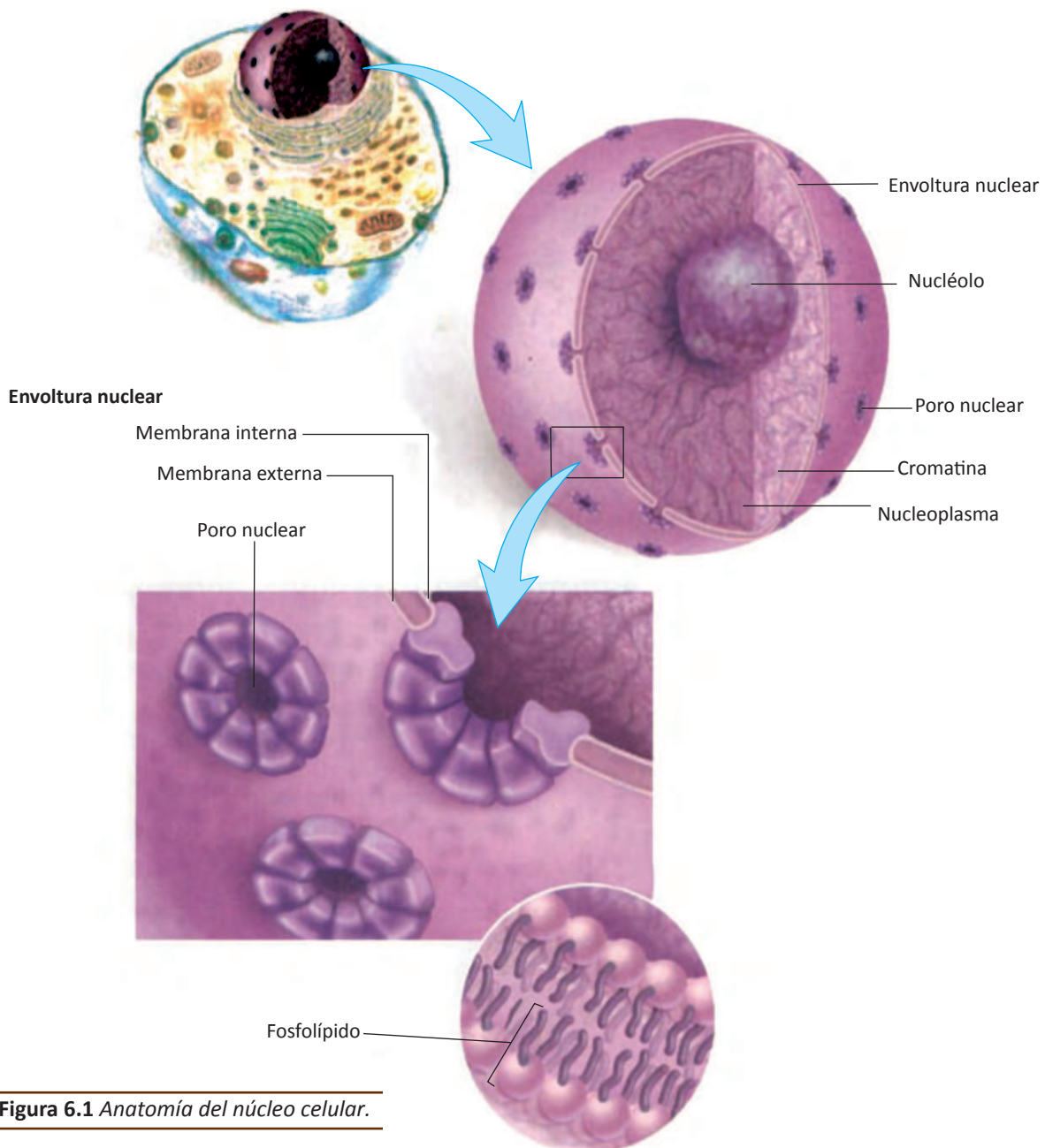


Figura 6.1 Anatomía del núcleo celular.

En el núcleo se encuentra el **ADN genómico o genoma** de la célula. Este es el conjunto de información genética que un organismo lleva en su ADN. El genoma humano está incluido dentro de dos organelos diferentes: el núcleo y la mitocondria. El genoma contiene unos 25,000 genes, codificados en el ADN, se encuentra repartido en una serie de cromosomas lineales dentro del núcleo de la célula, y comprende el material genético tanto de origen paterno como materno. Mientras que el ADN mitocondrial contiene 37 genes que son esenciales para el funcionamiento normal de la mitocondria y su origen es exclusivamente materno.

El ADN en cada célula contiene todas las instrucciones necesarias para dirigir el crecimiento y el desarrollo de las células, para moldear un organismo y para mantener las células en funcionamiento mientras viva el individuo.

Las partes que integran al núcleo celular son: envoltura nuclear, nucleoplasma, nucléolos y material genético (cromatina o cromosomas).

Envoltura nuclear

La **envoltura nuclear** está integrada por dos membranas concéntricas que separan el contenido nuclear del citoplasma circundante. Al igual que la membrana plasmática, las membranas de la envoltura nuclear están constituidas de una doble capa de fosfolípidos. Estas membranas tienen una separación entre ellas de 20-40 nm.

Las dos membranas nucleares se unen a intervalos para formar los **poros nucleares**. Con el microscopio electrónico se pueden observar los complejos proteínicos que forman a los poros nucleares. Estos miden 100 nm de diámetro. La función de los poros nucleares es regular el paso de materiales entre el núcleo y el citoplasma.

En la mayoría de las células, la membrana nuclear externa se continúa con el retículo endoplásmico rugoso (ver figuras 3.19 y 4.19).

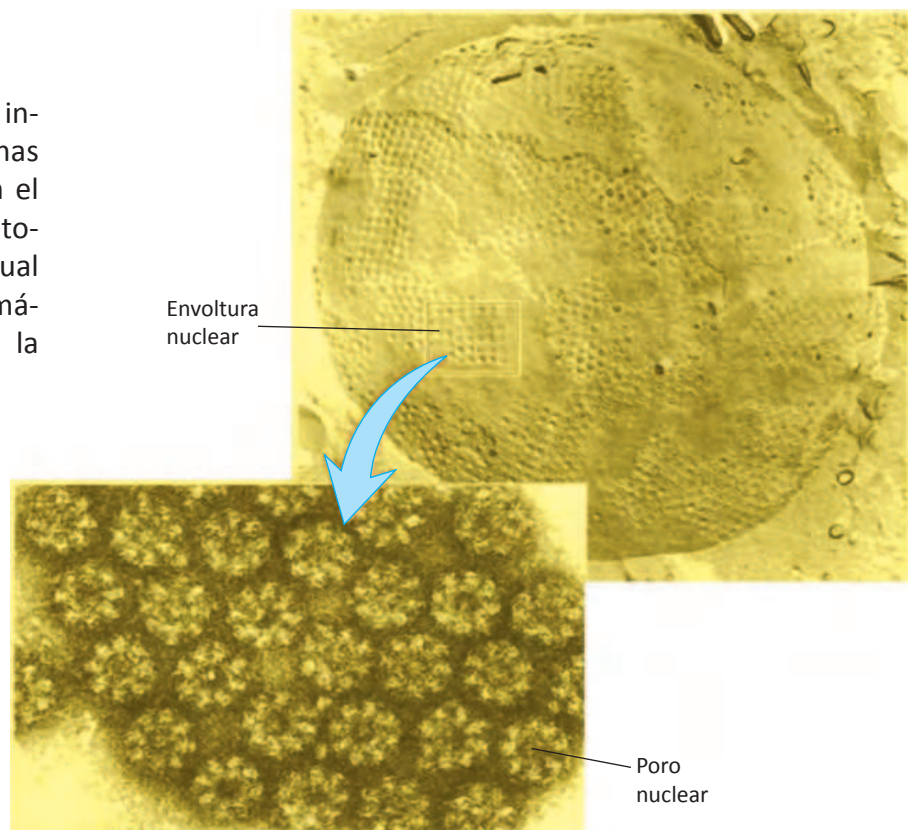


Figura 6.2 Micrografía electrónica de la membrana nuclear y de los poros nucleares que esta posee. Cada poro está formado por 8 proteínas, los poros nucleares sirven para que las sustancias pasen del interior al exterior del núcleo y viceversa.

Nucleoplasma

El **nucleoplasma** es la matriz semifluida del núcleo. En el nucleoplasma se encuentran el material genético y los nucléolos. Está organizado por la lámina nuclear, el armazón de proteínas del nucleoplasma que está compuesto principalmente de filamentos intermedios.

Nucléolo

La mayoría de los núcleos poseen una o más (por lo general dos) estructuras compactas denominadas nucléolos. Los nucléolos pueden llegar a representar un 25% del volumen total nuclear. Un **nucléolo** es una región oscura de la cromatina, donde el ARN ribosomal es sintetizado y la subunidades de los ribosomas son ensambladas. El nucléolo no está rodeado de membranas y normalmente se tiñe diferente a la cromatina que lo rodea. Cada nucléolo contiene un organizador nucleolar formado por regiones cromosómicas que contienen instrucciones para sintetizar el ARN ribosómico. Recuerda que un ribosoma está constituido de ARN ribosómico y proteínas. Estas proteínas son sintetizadas en los ribosomas que se encuentran en el citoplasma ya sea libres o adheridos al retículo endoplásmico. Una vez que son sintetizadas estas proteínas, pasan del citoplasma al núcleo para que en los nucléolos se unan al ARNr y se ensamblen las dos subunidades de los ribosomas (50S y 30S). Después de que están formados los ribosomas, salen del núcleo hacia el citoplasma, a través de los poros nucleares.

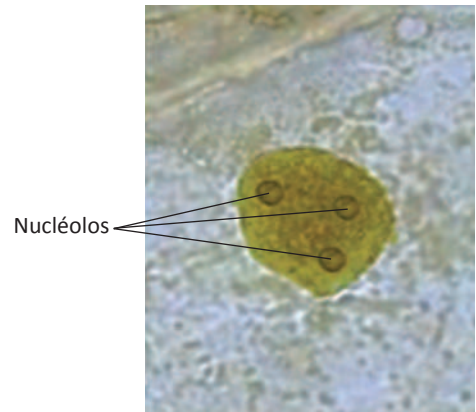


Figura 6.3 Núcleo de una célula epidérmica de cebolla que muestra tres nucléolos.

Cromatina y cromosomas

El núcleo tiene cromatina en una matriz semifluida llamada nucleoplasma. El ADN se asocia a proteínas formando un complejo conocido como **cromatina**, que se observa como una red de gránulos y hebras en el núcleo de las células que no están en división (interfase). Aunque la cromatina parece desorganizada, no es así, ya que las moléculas de ADN son extremadamente delgadas y largas. Justo antes de que la célula se divida, las hebras de cromatina se empaquetan dentro del núcleo de una manera muy regular como parte de unas estructuras llamadas **cromosomas**. Los cromosomas se hacen visibles como estructuras filamentosas diferenciadas, es decir, la cromatina se observa laxa, pero cuando inicia la división celular, la cromatina se condensa (compacta) y recibe el nombre de cromosomas.

Cada cromosoma está formado por un par de **cromátidas hermanas** que contienen secuencias de ADN de cadena doble idénticas. Cada cromátida contiene una región constreñida (angosta) llamada **centrómero**. Las cromátidas hermanas están estrechamente asociadas entre sí en la vecindad de sus centrómeros. La base química de esta asociación estrecha entre centrómeros son unas secuencias específicas (nucleótidos de ADN) y unas proteínas que se unen a dichas secuencias.

Por ejemplo, las cromátidas hermanas están físicamente unidas por un complejo de proteínas con forma de anillo llamadas **cohesinas**.

Estas cohesinas se extienden a lo largo de los brazos de la cromátida hermana y se concentran especialmente en el centrómero.

Unido a cada centrómero, se localiza el cinetocoro, un complejo multiproteínico al cual se pueden unir los **microtúbulos**. Estos microtúbulos participan en la distribución de los cromosomas durante la mitosis, en la que una parte de cada cromosoma se reparte a cada célula hija.

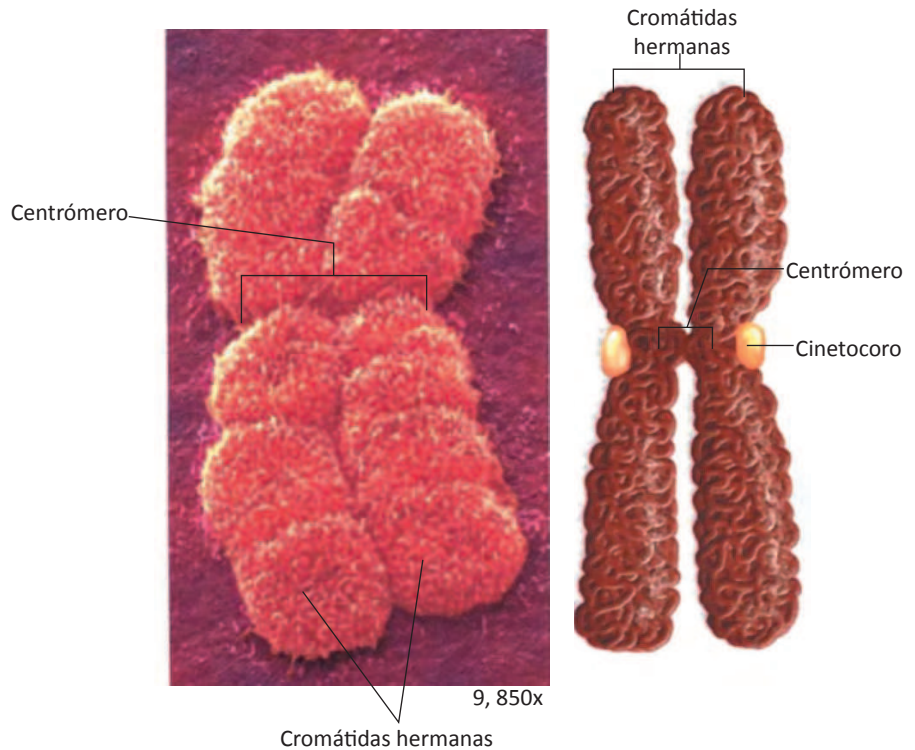


Figura 6.4 Micrografía electrónica de un cromosoma doble y su dibujo respectivo. Cada una de las cromátidas hermanas está formada por fibras de cromatina altamente enrollada. Las cromátidas hermanas se asocian estrechamente en sus regiones centroméricas.

Los cromosomas que se encuentran en el núcleo celular son los principales transportadores de la información genética en los eucariontes. El término cromosoma significa “cuerpo coloreado”, aunque son aparentemente incoloros. Este término hace referencia a su capacidad de teñirse con diferentes colorantes. En la década de 1880, los microscopios ópticos habían mejorado tanto que científicos, como por ejemplo, el biólogo alemán Walter Fleming empezaron a observar los cromosomas durante la división celular.



Figura 6.5 Micrografía óptica de los 46 cromosomas humanos, aumentados 1,000 veces su tamaño.

En 1909, el biólogo americano **Walter Sutton** y el biólogo alemán **Theodor Boveri** observaron independientemente que los cromosomas eran los portadores físicos de los genes, los factores genéticos que Gregor Mendel descubrió en el siglo XIX.

Las células preexistentes se dividen para formar nuevas células. Este importante proceso permite que un organismo pluricelular crezca y un organismo unicelular se reproduzca. La célula más sencilla contiene codificada de forma muy precisa una gran cantidad de información genética en la molécula de ADN, común-

mente conocida como **genoma** del organismo. El genoma de un individuo se organiza en unidades de información denominadas **genes**, que controlan las actividades celulares y se transmiten a sus descendientes.

El genoma de un organismo puede contener centenares o incluso miles de genes. Por ejemplo, el **Proyecto Genoma Humano** estima que los humanos, poseemos alrededor de 25,000 genes que codifican proteínas. Un gen contiene la información necesaria para realizar una o más funciones específicas. Por ejemplo, los genes controlan lo largo de los dedos, el color de los ojos, la forma de la nariz, etc.

El ADN se empaqueta de una manera muy organizada en los cromosomas de las células eucariotas, en forma de cromosomas. Ciertas proteínas conocidas como **histonas** facilitan el empaquetamiento del cromosoma. Las histonas tienen carga positiva porque están formadas de una alta proporción de aminoácidos con cadenas laterales básicas (lisina y arginina). Las histonas cargadas positivamente se asocian

al ADN que tiene carga negativa a causa de sus grupos fosfato, para formar unas estructuras denominadas **nucleosomas**.

La unidad fundamental de los nucleosomas consiste en una estructura parecida a una perla. El ADN con los nucleosomas parece un collar de perlas, donde cada perla sería un nucleosoma.

Cada nucleosoma está formado por 8 moléculas de histona (dos de cada uno de los cuatro tipos de histonas diferentes: H3, H4, H2A y H2B, formando un centro proteínico alrededor del cual se enrolla la doble cadena de ADN. El ADN que envuelve a las histonas tiene un tamaño de 146 pares de nucleótidos; los nucleosomas están unidos entre sí por otro segmento de ADN de alrededor de 60 pares de nucleótidos (ADN de unión).



Figura 6.6 Walter Sutton (izquierda) y Theodor Boveri (derecha) observaron independientemente que los cromosomas eran los portadores físicos de los genes.

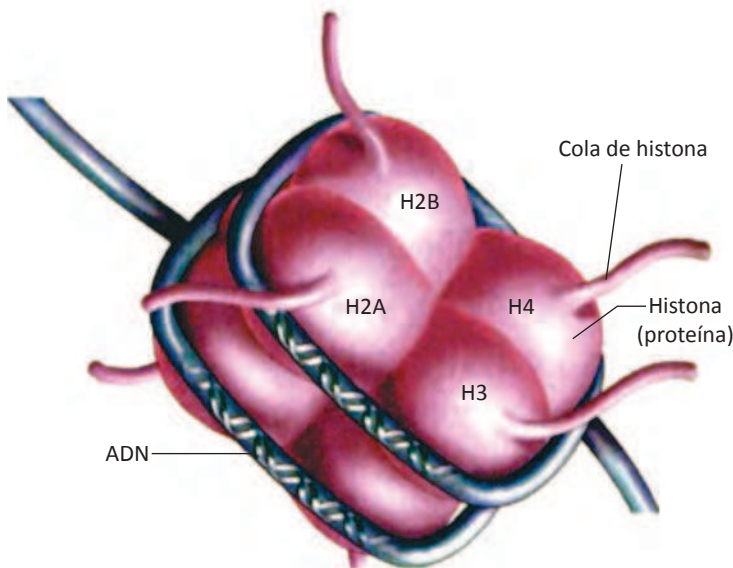


Figura 6.7 Cada nucleosoma está constituido por 8 histonas (2 de H2B, 2 de H2A, 2 de H4 y 2 de H3). Los nucleosomas son responsables del empaquetamiento de la cromatina dentro del núcleo.

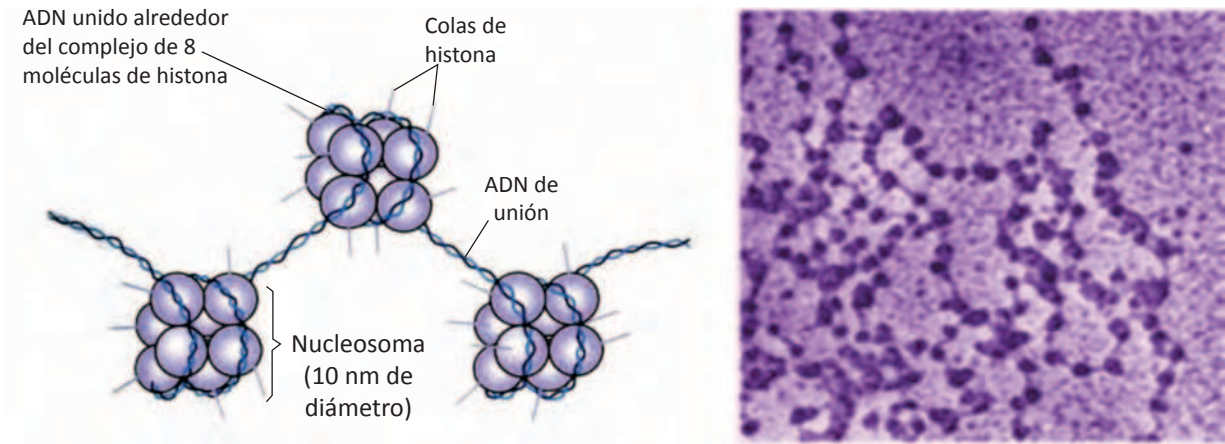
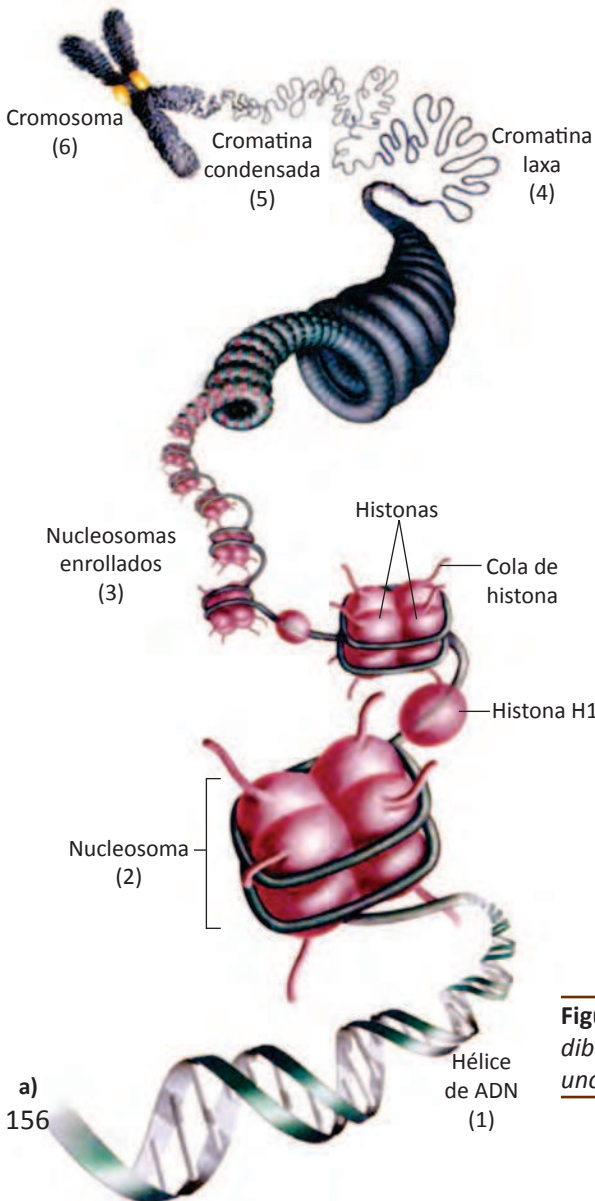


Figura 6.8 A la izquierda, un modelo de tres nucleosomas. El ADN que envuelve al complejo de 8 histonas contiene 146 pares de nucleótidos; los nucleosomas están unidos entre sí por otro segmento de ADN de 60 pares de nucleótidos. A la derecha, una micrografía electrónica de los nucleosomas.

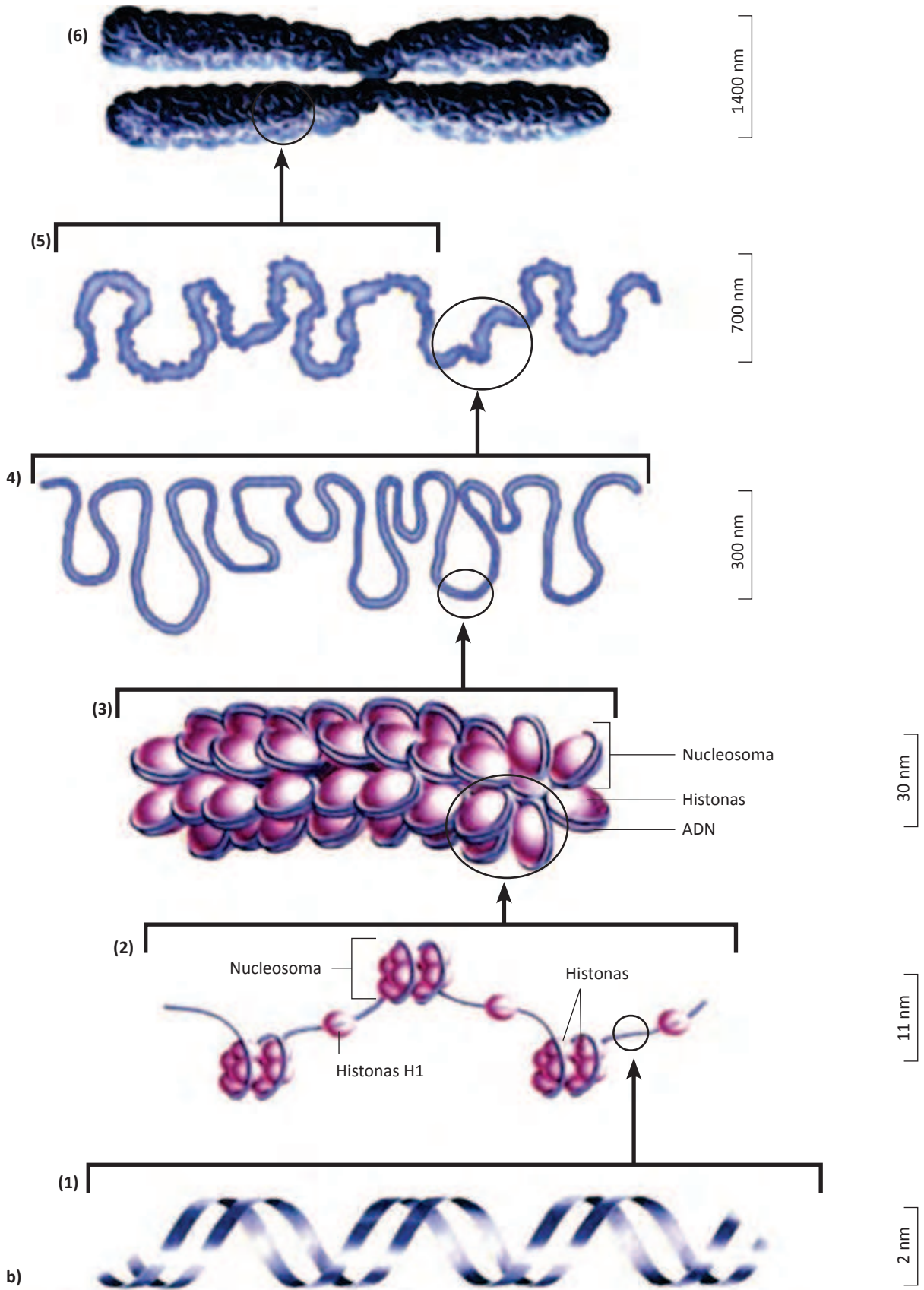


Los nucleosomas funcionan como pequeñas bobinas que evitan que la cadena de ADN se enrede. Existen otras proteínas (que no son histonas) que permiten mantener la estructura del cromosoma, las **proteínas de andamiaje**. Las histonas forman parte importante del proceso de la regulación de la expresión génica, es decir, de si los genes se expresan o no.

El empaquetamiento del ADN en forma de nucleosomas representa el primer nivel de estructura del cromosoma. La figura 6.9 muestra un nivel superior de estructura de la cromatina que lleva a la formación de un cromosoma condensado. Los nucleosomas tienen un diámetro de 11 nm. El estado de nucleosoma empaquetado tiene lugar cuando el quinto tipo de histona, conocida como *histona H1*, se asocia con el ADN de unión, permitiendo que los nucleosomas adyacentes se unan y formen una fibra de cromatina compacta de 30 nm.

En la cromatina extendida (laxa), estas fibras forman unos bucles grandes unidos entre ellos por las proteínas de andamiaje. Estos bucles interactúan para formar la cromatina condensada que se encuentra en los cromosomas.

Figura 6.9 a) Organización de un cromosoma eucarionte. En el dibujo b de la siguiente página se muestran las medidas de cada uno de sus componentes.



Los biólogos celulares han identificado un grupo de proteínas llamadas **condensinas** que son indispensables para compactar el ADN. La condensina se une al ADN y lo envuelve en unos bucles que se compactan para formar un cromosoma mitótico o meiótico.

Todas las células de un individuo contienen el mismo número de cromosomas, excepto los óvulos y los espermatozoides, los cuales tienen la mitad del número de cromosomas. La cromatina y los cromosomas contienen ADN, proteínas y algo de ARN (ácido ribonucleico). Sin embargo, lo que determina que cada especie sea única no es el número de cromosomas, sino la información que está codificada en los genes.

Las **células somáticas** (corporales) del ser humano tienen exactamente 46 cromosomas. El árbol de olivo también tiene 46 cromosomas. Algunas personas tienen una composición anormal de cromosomas (más de 46 o menos de 46 cromosomas). Algunos helechos tienen más de 1,000 cromosomas mientras que una especie de nematodo solo tiene 2 cromosomas. La mayor parte de las especies de vegetales y animales poseen entre 8 y 50 cromosomas por célula somática.

Si se pudiera extender el ADN de los 46 cromosomas de una célula humana, mediría 2 metros.



Figura 6.10 Al desenrollar el ADN de los 46 cromosomas humanos este mediría aproximadamente 2 metros.

Funciones del núcleo

Debido al tamaño del núcleo (el más grande de los organelos) y que en la mayoría de las células se encuentra ubicado en una posición relativamente fija próxima al centro de la célula, algunos de los primeros investigadores supusieron, mucho antes de que se dispusiera de evidencias experimentales, que el núcleo funcionaba como centro de control.

Las células almacenan información en una molécula de ácido desoxirribonucleico (ADN) y la mayor parte del ADN de las células se encuentra dentro del **núcleo**. Cuando una célula se divide, la información almacenada en el ADN se replica para pasar intacta a las dos células hijas. Las moléculas de ADN están formadas por genes (secuencias de nucleótidos) que contienen las instrucciones químicamente codificadas para elaborar las proteínas que necesita la célula, es decir, los genes son las unidades de herencia de los cromosomas. **El ADN del núcleo controla la síntesis de proteínas** transcribiendo su información en forma de ARN mensajero (ARNm), este sale del núcleo a través de los poros de la envoltura nuclear para trasladarse al citoplasma, específicamente a los ribosomas en donde se sintetizan las proteínas.

Los tres tipos de ARN (ribosómico, mensajero y de transferencia) son sintetizados en el núcleo.

Ciclo celular

Las etapas por las que una célula debe pasar entre una división y otra se conoce con el nombre de **ciclo celular**. Bajo condiciones óptimas de nutrición, temperatura y pH, la duración del ciclo celular eucarionte es constante para cada tipo celular.

El tiempo que dura un ciclo celular varía entre especies y entre distintos tejidos de la misma especie. En una célula vegetal o animal que crece activamente es de 8 a 20 horas.

Cuando las células alcanzan cierto tamaño, deben dejar de crecer o bien dividirse. No todas las células se dividen, por ejemplo los glóbulos rojos normalmente no se dividen una vez maduros. Algunas células del músculo esquelético dejan de dividirse después de los primeros meses de vida, mientras que las células del tracto digestivo y las células de la piel se dividen frecuentemente a lo largo de la vida de un organismo.

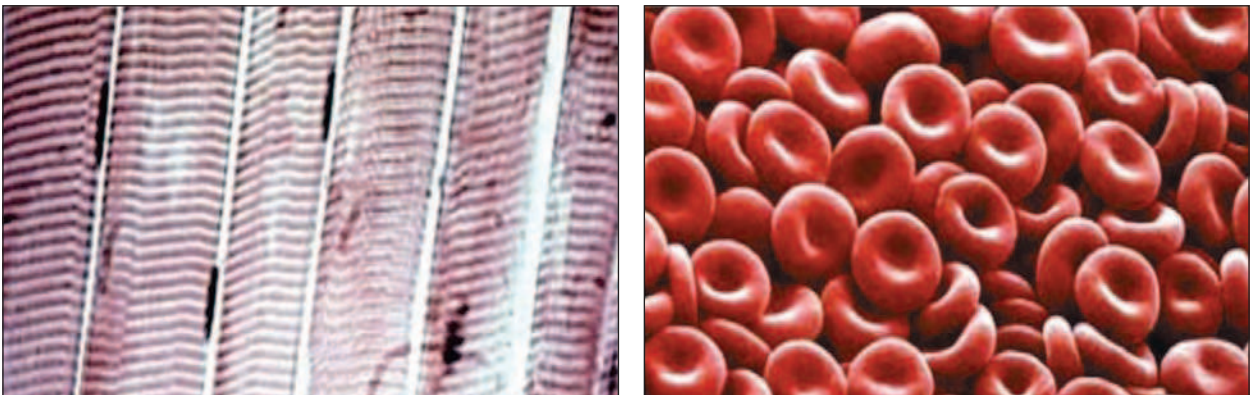


Figura 6.11 Micrografía óptica de células musculares esqueléticas y micrografía electrónica de glóbulos rojos. Dos tipos celulares que normalmente no se dividen una vez maduras.

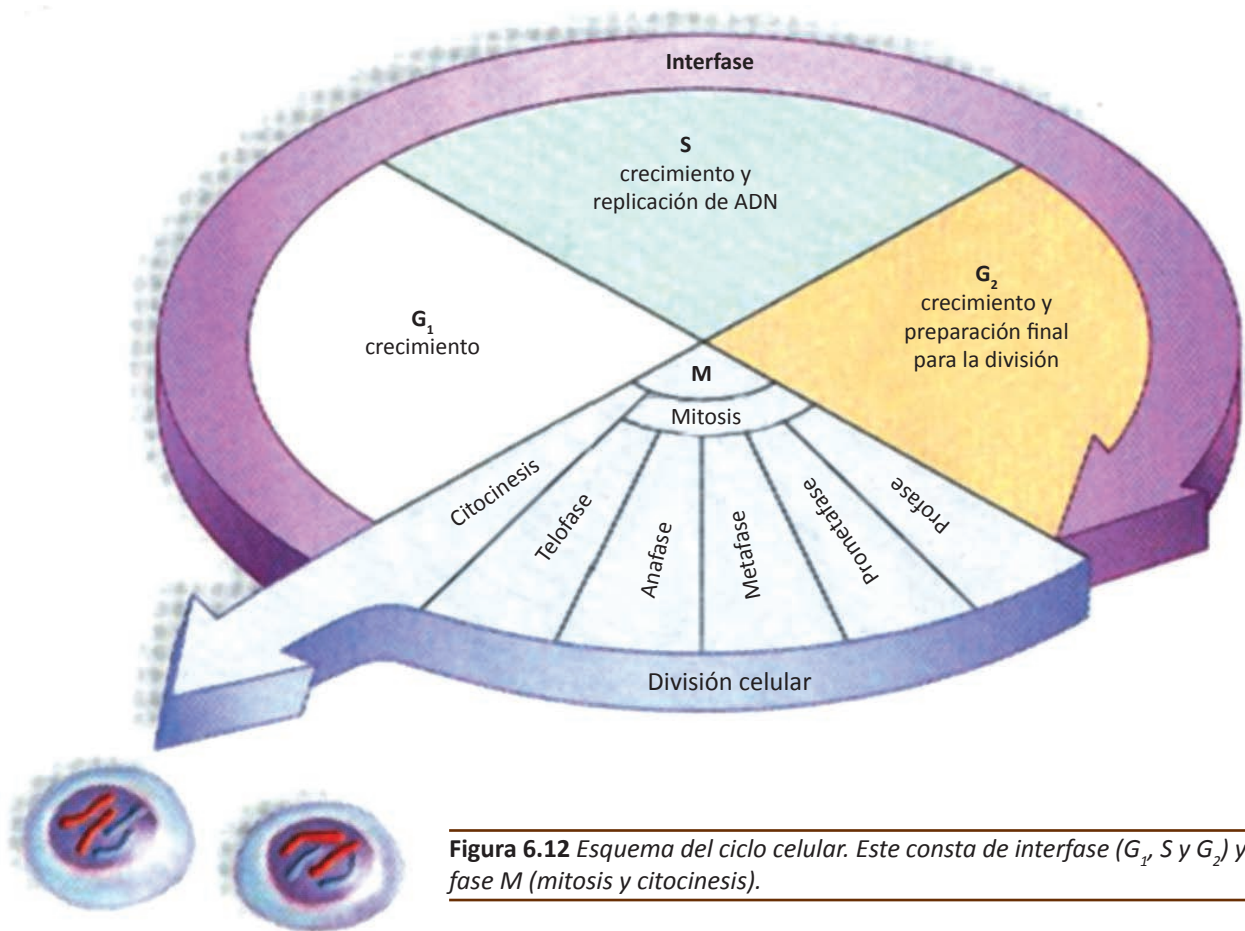


Figura 6.12 Esquema del ciclo celular. Este consta de interfase (G_1 , S y G_2) y fase M (mitosis y citocinesis).

El ciclo celular consta de dos fases principales: la **interfase** y la **fase M**.

- La **interfase** es la etapa en la que la célula no se divide y pasa la mayor parte de su vida.
- La **fase M** consta de dos procesos principales: la mitosis (división celular) y la citocinesis (división del citoplasma).

Interfase

Una célula que es capaz de dividirse, es muy activa durante la **interfase**, ya que sintetiza las moléculas necesarias (proteínas, lípidos y otras moléculas de importancia biológica) y crece.

Durante la interfase se lleva a cabo el crecimiento celular ya que la célula duplica todos sus organelos y moléculas. Está integrada por fase **G₁**, fase **S** y fase **G₂**.

G corresponde a *gap* que significa intervalo en inglés, porque se trata de una fase de ciclo celular durante el cual no hay síntesis de ADN.

Fase G₁. Es el tiempo que transcurre entre el final de la mitosis y el principio de la fase S. Esta fase es típicamente la más larga y en ella se realiza el crecimiento y el metabolismo normal de la célula. Cabe aclarar que las células que no se dividen normalmente se detienen en esta fase de la interfase (G₁) y se encuentran en un estado denominado G₀. Hacia el final de la

fase G_1 , las enzimas necesarias para la síntesis de ADN se vuelven más activas. La síntesis de estas enzimas y de las proteínas necesarias para la división celular, permiten que la célula entre a la fase S.

Fase S. Es la fase de **síntesis de ADN** y de **histonas** para que la célula pueda tener copias duplicadas de sus cromosomas. A principio de la década de 1950, los investigadores demostraron que las células que se preparaban para dividirse, duplicaban sus cromosomas en un tiempo muy restringido de la interfase y no durante la mitosis, como se había creído hasta entonces.

Fase G_2 . Una vez completada la fase S, la célula entra en una segunda fase intervalo, la fase G_2 en la que aumenta la síntesis de proteínas al mismo tiempo que se realizan los pasos finales de preparación de la célula para la división. En muchas células, la fase G_2 es corta en comparación con la fase S y G_1 .

Al observar al microscopio las células, se identifican fácilmente las que están en interfase, porque el núcleo posee nucléolo(s) y membrana nuclear. El ADN es laxo, es decir esta en forma de cromatina.

Mediante las micrografías, se observan regiones de la cromatina que están más condensadas y oscuras. Esta cromatina se denomina **heterocromatina** y es considerada cromatina inactiva. Un ejemplo de esta es el corpúsculo de Barr. La **eucromatina** es la cromatina activa, se condensa solo durante división celular (mitosis y meiosis) para transformarse en cromosomas.

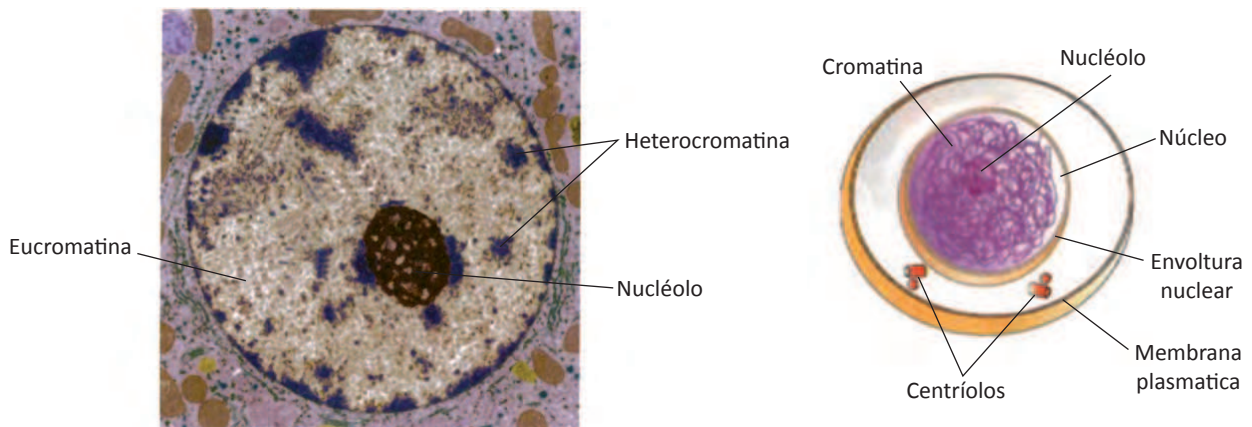


Figura 6.13 A la izquierda se muestra una micrografía de un núcleo celular en interfase para diferenciar la eucromatina de la heterocromatina. A la derecha, un dibujo ilustrativo de una célula en interfase.

Fase M

La **fase M** consta de dos procesos principales que son la **mitosis** y la **citocinesis**.

Mitosis

La **mitosis** es un proceso altamente organizado que permite que una célula progenitora transmita una copia de cada cromosoma a cada una de sus células hijas, es decir, los dos nuevos núcleos reciben el mismo número y tipo de cromosomas característicos del núcleo original.

La mitosis inicia al finalizar la fase G_2 . La mitosis en realidad es un ciclo continuo, pero con fines didácticos se divide en cinco etapas: **profase**, **prometáfase**, **metafase**, **anafase** y **telofase**.

Profase

La primera etapa de la mitosis, la **profase** se inicia en el momento en el que las largas hebras de cromatina empiezan un proceso de condensación (enrollamiento) que las hace más gruesas y cortas. Una vez que se ha producido la condensación, la **cromatina** recibe el nombre de **cromosomas**.

Además, cuando inicia la profase, llamada **profase temprana**, empiezan a desaparecer los nucleólos y la membrana nuclear está fragmentada. Cuando ya termina la profase (profase tardía), ya no se observan los nucleólos y la membrana nuclear está desintegrada.

Cuando se tiñen los cromosomas con determinados colorantes y se observan en el microscopio óptico, son visibles como unos cuerpos oscuros a medida que progresa la profase. En este momento es aparente que cada cromosoma se duplicó durante la fase S de la interfase precedente. Cada cromosoma está formado por una par de cromátidas hermanas que contienen secuencias de ADN de doble cadena idénticas. Cada cromátida contiene una región muy angosta llamada centrómero. Unido a cada centrómero, se encuentra el cinetocoro, al cual se unen los **microtúbulos**, estos, participan en la distribución de los cromosomas durante la mitosis, en la que una copia de cada cromosoma se reparte a cada célula hija.

Los microtúbulos irradian de cada polo y algunas de estas fibras proteínicas se alargan hasta los cromosomas para formar el **huso mitótico**. El huso mitótico tiene como función separar los cromosomas duplicados durante la anafase. La organización y función del huso mitótico es debida a la intervención de proteínas motoras y varias moléculas señalizadoras.

Tanto en las células animales como vegetales, cada polo, contiene una región, el **centro organizador de microtúbulos** (COMT), a partir del cual irradian los microtúbulos que forman el husos mitótico. A través del microscopio electrónico se observa que en algunas células vegetales los COMT consisten en unas fibras con poca o ninguna estructura definida. En cambio, las células animales presentan un par de centríolos en el centro de cada COMT. Los centríolos están rodeados por fibrillas que forman el **material pericentriolar**. Los microtúbulos del huso terminan en el material pericentriolar pero no llegan a tocar los centríolos.

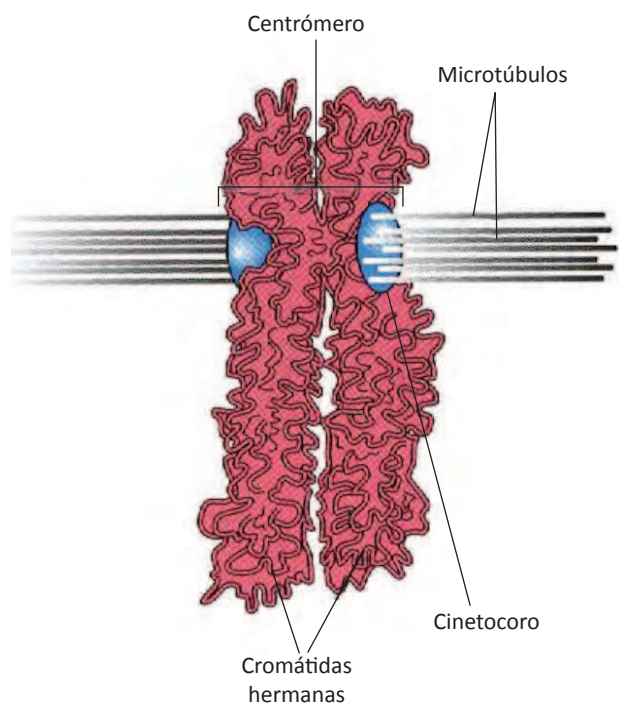


Figura 6.14 Cromátidas hermanas. Observa cómo está unido a cada centrómero, el cinetocoro y como a éste se unen los microtúbulos.

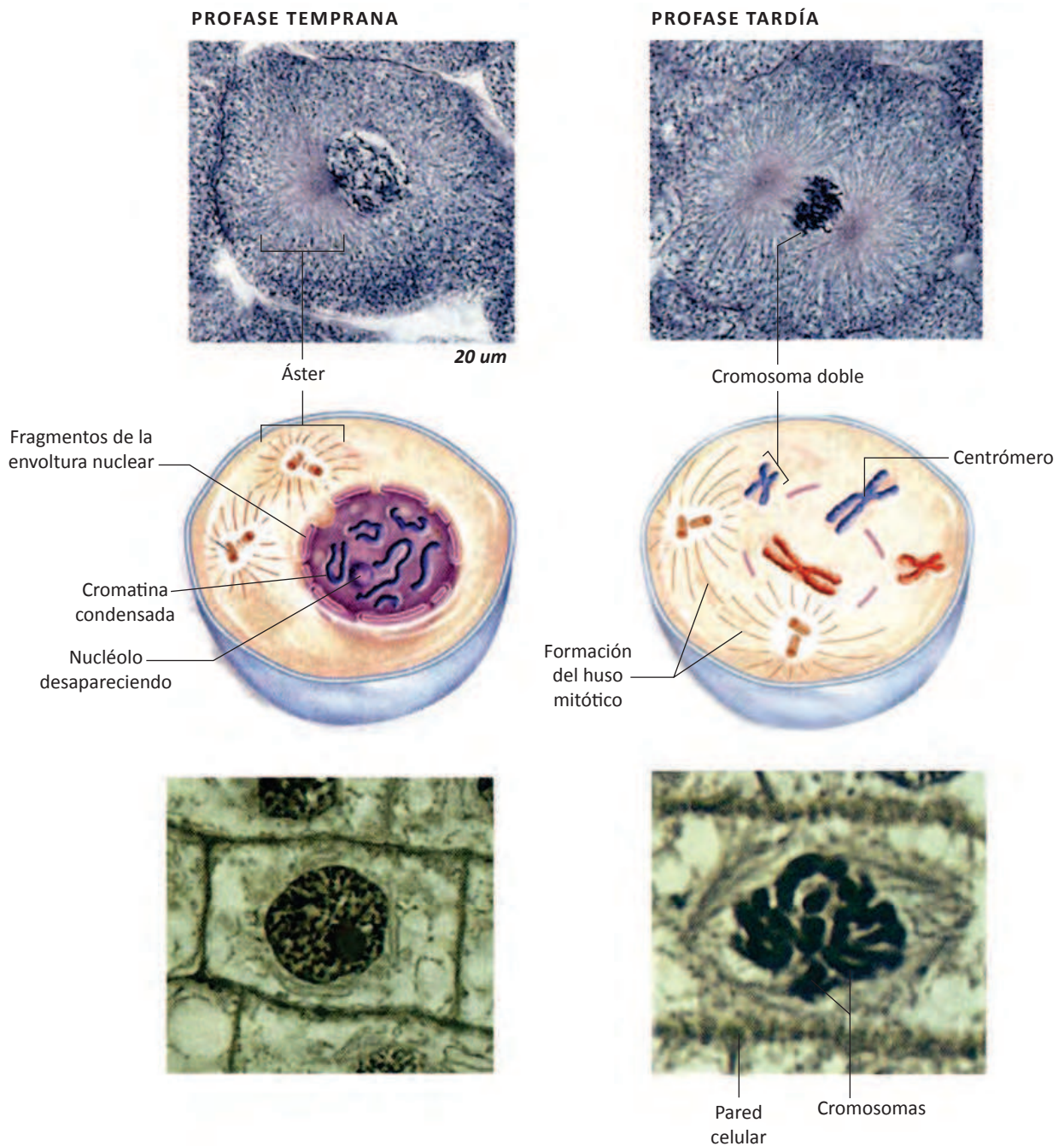


Figura 6.15 Profase. En la parte superior se muestra una micrografía de una célula animal. Al centro, un dibujo ilustrativo de la misma y en la parte de abajo, una micrografía de una célula vegetal.

Cada centríolo se duplica durante la interfase, originando dos pares de centríolos. Cuando ya está avanzada la profase, los microtúbulos irradian desde el material pericentriolar (que rodea a los centríolos); estos conjuntos de microtúbulos se conocen como **ásteres**. Los dos ásteres migran a lados opuestos del núcleo, estableciendo así los dos polos del huso mitótico. Como las células vegetales no poseen centríolos, forman el huso mitótico pero sin áster.

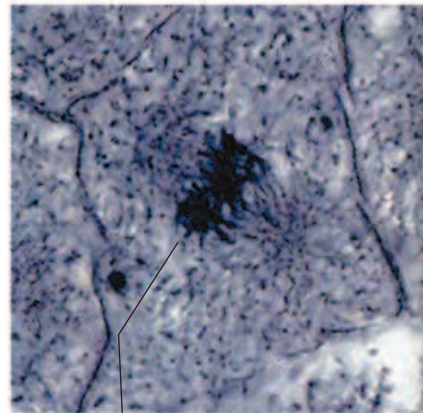
Prometafase

A la segunda fase de la mitosis se le conoce como **prometafase**. Esta fase inicia cuando la envoltura nuclear ha sido desintegrada y se internaliza en vesículas para usarla más tarde. El huso mitótico está totalmente formado. Al inicio de la prometafase, los cromosomas duplicados están esparcidos por toda la región nuclear. Los microtúbulos del huso crecen y tienen movimientos dinámicos y aleatorios que les dan una apariencia de ir “buscando” a los cromosomas. Si un microtúbulo se acerca a un centrómero, es “capturado” por uno de los cinetocoros del cromosoma duplicado.

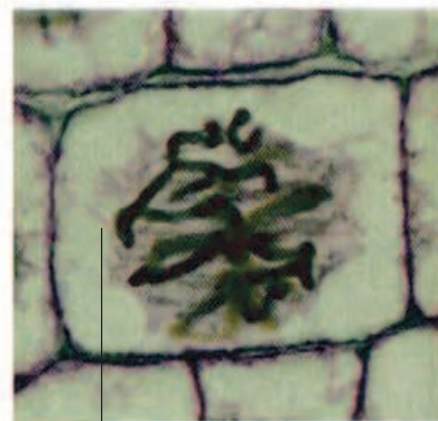
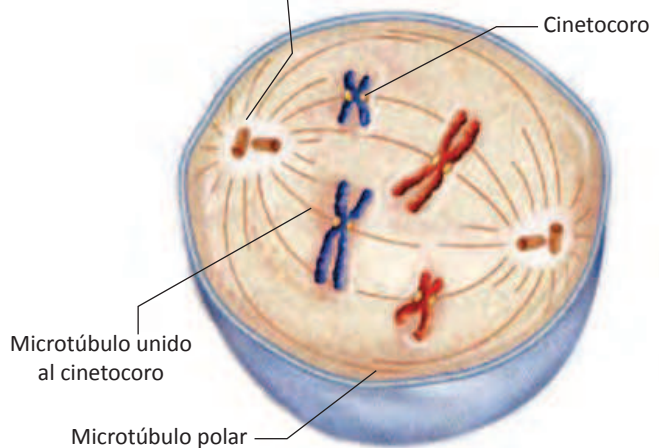
Durante el movimiento de los cromosomas hacia el plano medio de la célula, los microtúbulos se acortan gracias a la eliminación de subunidades de tubulina, y los microtúbulos cortos se alargan por la adición de subunidades de tubulina. Este acortamiento y alargamiento tiene lugar mientras el microtúbulo sigue unido firmemente al cinetocoro.

Resumiendo, durante la prometafase, las cromátidas hermanas de cada cromosoma duplicado se unen mediante los cinetocoros a los microtúbulos del huso mitótico que se extienden desde los polos opuestos de la célula; los cromosomas inician a deslizarse hacia el plano medio de la célula. A medida que la célula avanza de prometafase a metafase, las cohesinas (complejo de proteínas con forma de anillo que unen a las cromátidas hermanas) se disocian de los brazos de las cromátidas hermanas, uniendo solamente la región centromérica.

PROMETAFASE



Polo del huso mitótico



Polo del huso mitótico sin centríolo ni áster

Figura 6.16 Prometafase. En la parte superior se muestra una micrografía de una célula animal, en la parte central un dibujo ilustrativo de la misma, y en la parte inferior una micrografía de una célula vegetal.

Metafase

Durante la tercera fase de la mitosis, la **metafase**, todos los cromosomas se alinean en el plano medio o **placa metafásica**. Una de las dos cromátidas hermanas de cada cromosoma está unida a través de su cinetocoro, a los microtúbulos de un polo y su cromátida hermana lo está, a los microtúbulos del polo opuesto.

El huso mitótico está constituido de dos tipos de microtúbulos: los **polares** y los **cinetocóricos**. Los microtúbulos polares, también son conocidos como no-cinetocóricos, debido a que no están unidos a los cinetocoros de los cromosomas, sino que se extienden de cada polo de la región ecuatorial, donde se superponen entre ellos. Los microtúbulos cinetocóricos se extienden de cada polo y se unen a los cinetocoros de los cromosomas.

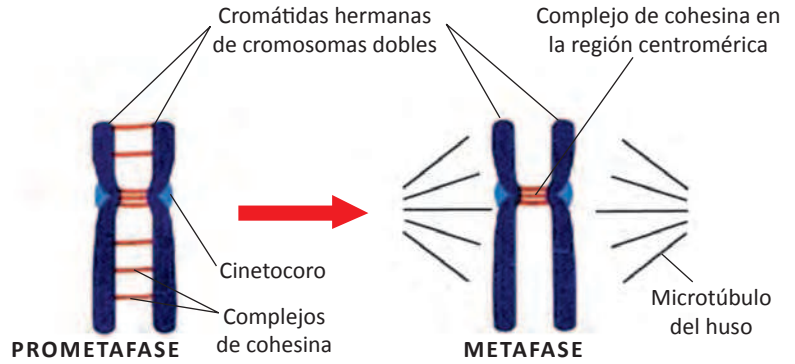


Figura 6.17 Dibujo de las cohesinas. A medida que avanza la mitosis, de prometafase a metafase, las cohesinas se disocian de los brazos de los cromosomas duplicados, quedando solo unidas de la región centromérica.

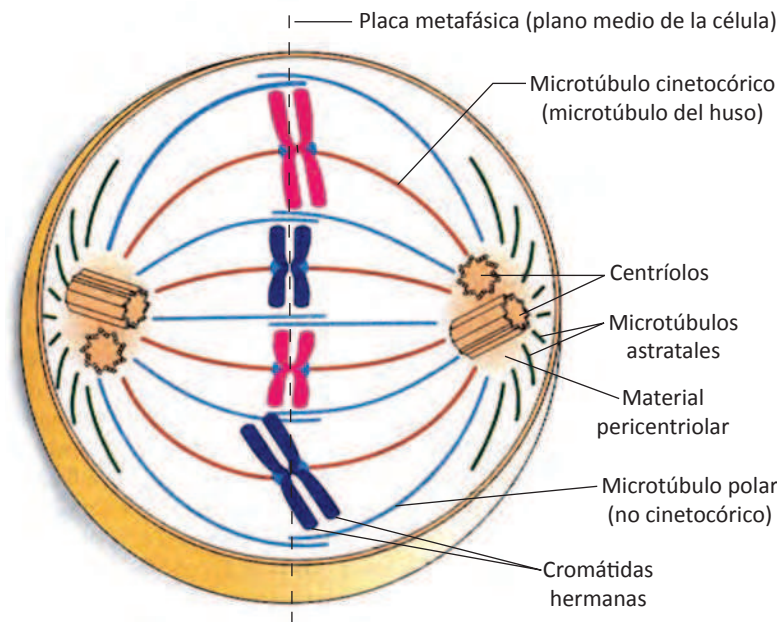
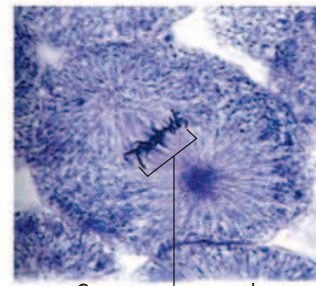
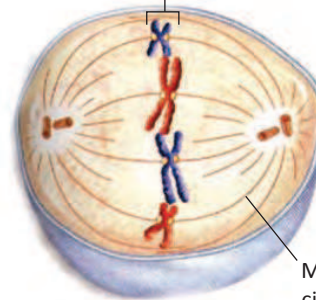


Figura 6.18 Dibujo del huso mitótico de una célula animal. Los microtúbulos cinetocóricos (en naranja), conectan los cinetocoros a los polos; los microtúbulos polares (en azul) se superponen en el plano medio. Los microtúbulos astrales (en verde) irradian en todas las direcciones formando un áster.

METAFASE



Cromosomas en el plano metafásico



Microtúbulo cinetocórico

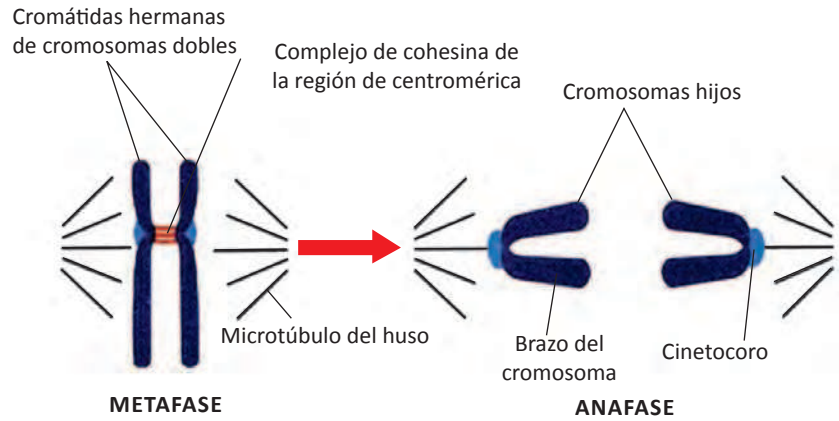


Microtúbulos

Figura 6.19 Metafase. La micrografía superior y el dibujo ilustrativo corresponden a una célula animal. La micrografía inferior es de una célula vegetal.

Durante la metafase cada cromátida está completamente condensada (gruesa), por lo que son fácilmente distinguibles. Esto se aprovecha para fotografiar los **cariogramas**, que se obtienen al romper las membranas nucleares en metafase, mediante técnicas especiales y establecer el **cariotipo**, cuando existen sospechas de posibles alteraciones cromosómicas.

A medida que la célula mitótica avanza de metafase a anafase, las cohesinas restantes que unen a las cromátidas hermanas en la región centromérica, se van disociando.



Anafase

La **anafase** empieza a medida que se separan las cromátidas hermanas. Una vez que las cromátidas ya no están unidas entre sí, cada cromátida pasa a ser un cromosoma.

Estos cromosomas se desplazan a polos opuestos usando los microtúbulos del huso como guías. Los cinetocoros que todavía permanecen unidos a los microtúbulos cinetocóricos, dirigen el camino, por delante de los brazos de los cromosomas. Los cromosomas adquieren una forma de "V" con el vértice apuntando hacia el polo. En el vértice de la "V" se encuentra el cinetocoro. La anafase finaliza cuando todos los cromosomas llegan a los polos.

Los biólogos celulares han logrado interpretar el mecanismo el mecanismo global del desplazamiento de los cromosomas durante la anafase. Los movimientos de los cromosomas se estudian de diversas maneras. Es posible determinar el número de microtúbulos de una etapa específica o después de ciertos tratamientos mediante el análisis detenido de micrografías electrónicas. Los biólogos celulares son capaces de perturbar físicamente las células vivas en división mediante rayos laser o con dispositivos mecánicos conocidos como *micromanipuladores*. Un investigador capacitado puede mover los cromosomas, romper sus uniones con los microtúbulos, e incluso, extraerlos de las células.

Figura 6.20 Las cohesinas se disocian completamente de la región centromérica, para permitir que los cromosomas hijos se separen unos de otros durante la anafase.

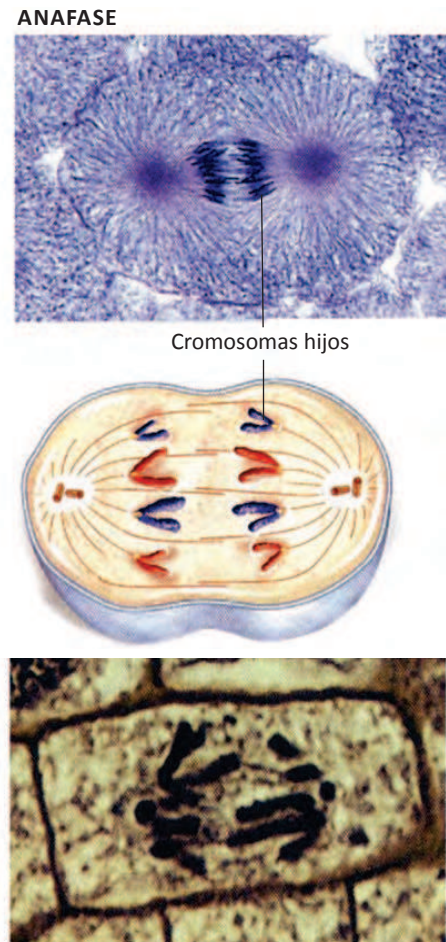


Figura 6.21 Micrografías de células animal y vegetal en anafase. Al centro un dibujo descriptivo de la anafase.

Telofase

Una vez que los cromosomas ya han llegado a sus respectivos polos, inicia la etapa final de la mitosis, la **telofase**. Esta fase se caracteriza por el retorno a las condiciones de la interfase, es decir, los cromosomas se descondensan mediante desenrollamiento y ya no se llamarían **cromosomas** sino nuevamente **cromatina** (hebras delgadas y largas).

Se forma una nueva envoltura nuclear alrededor de cada cromatina, dando origen a dos nuevos núcleos. Las dos nuevas envolturas nucleares se forman con las pequeñas vesículas procedentes de la envoltura nuclear que fue desintegrada durante la profase. Los microtúbulos del huso mitótico desaparecen y los nucléolos se reorganizan y vuelven a ser visibles.

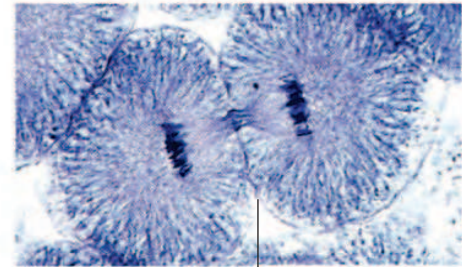
La mitosis se caracteriza por una destacable regularidad que permite que el núcleo de cada célula hija reciba el **mismo número y tipo de cromosomas** de la célula progenitora. Si se presenta una disfunción (falla) en la mitosis, entonces una célula recibe menos cromosomas o más cromosomas que el número habitual en su especie. La célula resultante puede presentar anomalías marcadas y a veces ser incapaz de sobrevivir.

Si la mitosis no va seguida de la citocinesis, se forman células multinucleadas; ésta es una condición normal en ciertos tipos celulares. Por ejemplo, el cuerpo de los mohos plasmoidiales está formado por una masa de citoplasma multinucleado.

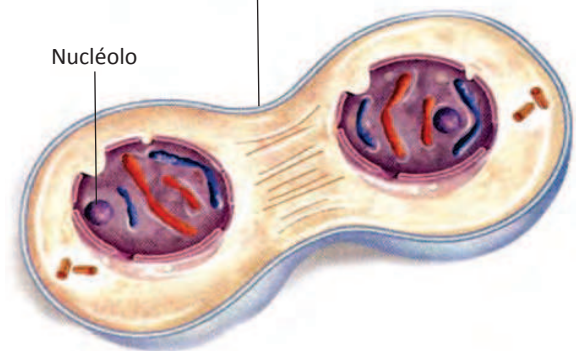
Citocinesis

La **citocinesis** es la división del citoplasma para originar dos células hijas. La citocinesis normalmente inicia antes de finalizar la mitosis. La citocinesis de una célula animal o de una célula fúngica, inicia con la formación de un **anillo contráctil de actiomiosina** (actina y miosina), unido a la membrana plasmática rodeando a la célula en su región ecuatorial y perpendicularmente al huso mitótico. El anillo se contrae formando un **surco de división** que se profundiza de manera gradual y que finalmente separa el citoplasma en dos células hijas, cada una de ellas con un núcleo completo.

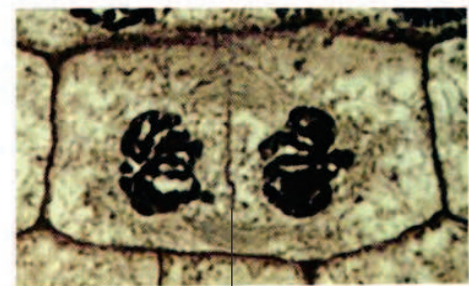
TELOFASE



Surco divisorio



Núcleo



Placa celular

Figura 6.22 Telofase. Los cromosomas se descondensan y las envolturas nucleares vuelven a formarse así como también los nucléolos.

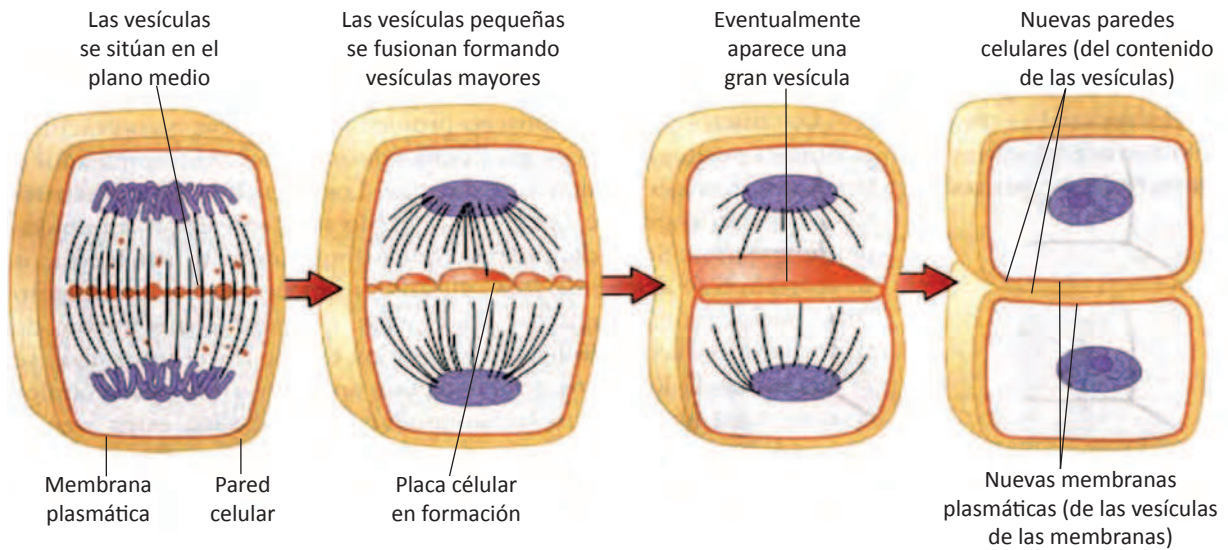


Figura 6.23 Citocinesis en célula vegetal. Los dibujos muestran los procesos en tercera dimensión.

En la citocinesis de las células vegetales se forma la **placa celular**, una división localizada en la región ecuatorial del huso y que crece lateralmente hacia la pared celular. La placa celular se genera a partir de una línea de vesículas originadas en el *complejo de Golgi*. Las vesículas contienen materiales para construir la pared celular primaria de cada célula hija así como también una lámina media que une entre sí las paredes celulares primarias. Las membranas de las vesículas se unen para formar las membranas plasmáticas de las células hijas.

Reguladores del ciclo celular

Los científicos durante mucho tiempo buscaron una sustancia que pudiera regular el ciclo celular, algo que “informara” a las células que había llegado la hora de dividirse, duplicar sus cromosomas y proteínas o entrar a otra fase del ciclo celular. Esa sustancia fue encontrada por los biólogos a principio de la década de 1980.

Entre los científicos más destacados están **Tim Hunt** de Inglaterra y **Mark Kirschner** de

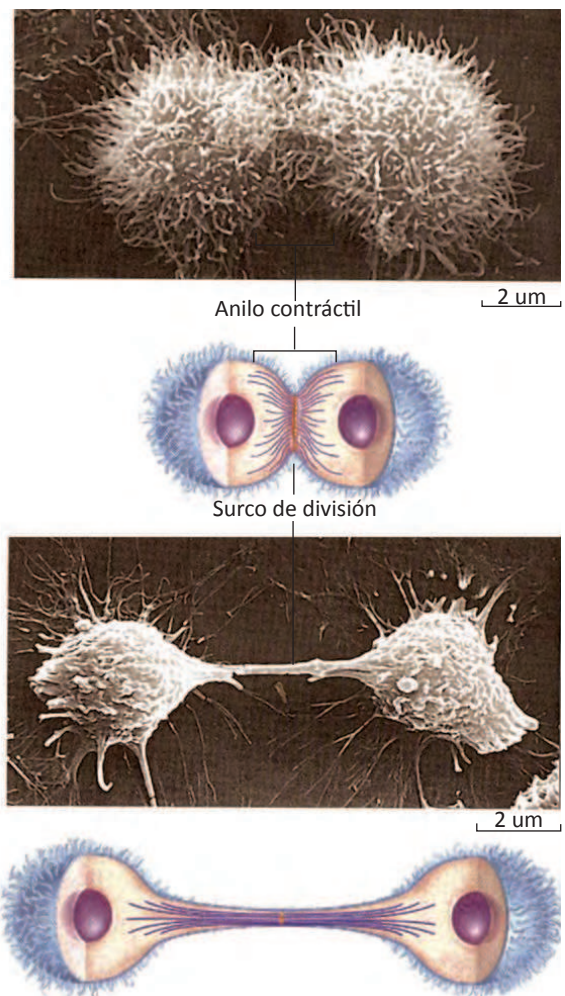


Figura 6.24 Citocinesis en célula animal. El anillo contráctil genera un surco de división que finalmente separa al citoplasma en dos células hijas, cada una de ellas con un núcleo completo.

Estados Unidos. Ellos descubrieron que las células en mitosis contienen una proteína que al extraerla e inyectarla a otra célula que no está en mitosis (interfase), produce la formación del huso mitótico. La figura 6.25 muestra este experimento. A esta proteína le llamaron **ciclina**. Se han descubierto una gran variedad de ciclinas que regulan el ritmo del ciclo celular en las células eucariotas. También se han reconocido docenas de otras proteínas que también ayudan a regular el ciclo celular. Las proteínas reguladoras que se encuentran en el interior de las células son los **reguladores internos**. Estos aseguran que la célula no entre en mitosis hasta que todos los cromosomas se hayan duplicado. Otra proteína reguladora evita que la célula entre en anafase hasta que todos los cromosomas estén ligados al huso mitótico. Las proteínas que responden a los sucesos fuera de la célula son los **reguladores externos**, ejemplos de estos, son los factores de crecimiento especialmente importantes durante el desarrollo embrionario y la curación de heridas.

Existen algunas moléculas reguladoras comunes en todos los eucariontes que controlan el ciclo celular. Dado que un fallo en el control del ciclo celular tendría consecuencias desastrosas, las señales de estos programas genéticos, llamados **puntos de control del ciclo celular**, permiten que todos los eventos de una etapa en particular se hayan completado antes de que inicie la siguiente etapa. Por ejemplo, si una célula produce ADN dañado o no duplicado, el ciclo celular se interrumpe y la célula no proseguirá con la mitosis.

Existen algunas hormonas vegetales, las **citoquininas**, que promueven la mitosis durante el crecimiento normal de una planta y durante la recuperación de una herida. Existen hormonas animales, como los esteroides, que estimulan el crecimiento.

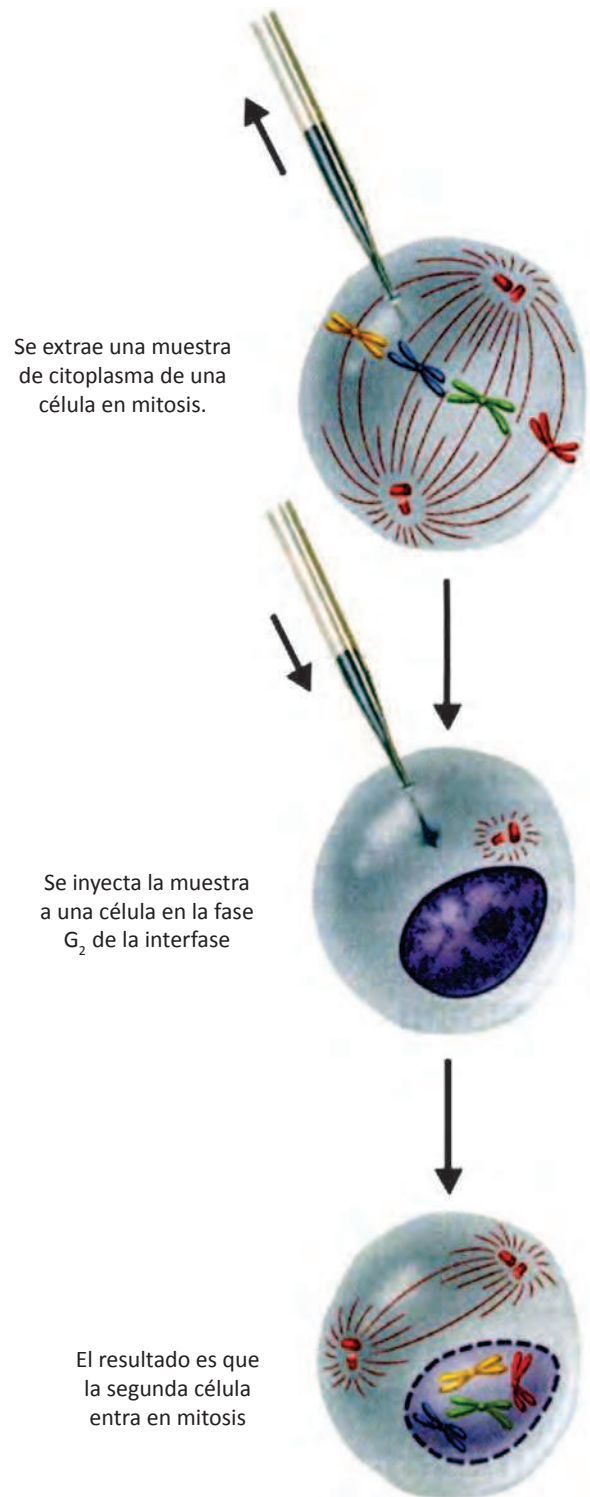


Figura 6.25 Reguladores del ciclo celular. Cuando las ciclinas del citoplasma de una célula en mitosis se inyecta a otra célula que está en interfase, ésta última célula entra en mitosis. Las ciclinas inician la división celular.

Apoptosis

Para que un organismo multicelular se desarrolle y se mantenga con eficiencia no solo es esencial la producción de nuevas células, sino también un proceso de muerte celular programado genéticamente, llamado **apoptosis**.

Las células terminan su ciclo de vida en una de dos maneras. Una célula puede morir por accidente debido a un daño o lesión, o bien, estar programada para morir por apoptosis.

La mayoría de las células fabrican las proteínas que causarán su propia destrucción. Estas proteínas letales son una familia de enzimas llamadas *caspasas*, que degradan proteínas de la lámina nuclear y del citoesqueleto, entre otras, y provocan la muerte de la célula.

Una vez que la apoptosis se inicia, la célula experimenta una serie de pasos controlados que la llevan a su autodestrucción.

Las células que entran en apoptosis se encogen y se separan de sus vecinas, luego las membranas celulares se ondulan y se forman burbujas en su superficie. La cromatina se condensa y los cromosomas se fragmentan; finalmente, las células se dividen en numerosas vesículas, los cuerpos apoptóticos, que serán engullidos por células fagocíticas, los macrófagos.

Un ejemplo de la apoptosis ocurre durante el desarrollo de los pies y las manos en los seres humanos. Las manos y pies de un embrión están palmeadas hasta que el tejido entre los dedos se destruye mediante apoptosis. En el adulto también se presenta este proceso, por ejemplo, las células de la capa superior de la piel y de la pared intestinal se están destruyendo continuamente y sustituyéndose por células nuevas.

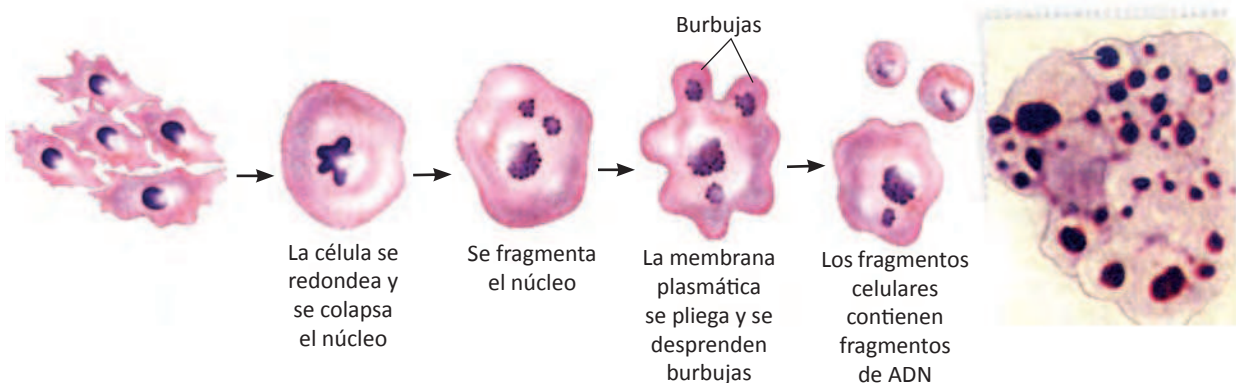


Figura 6.26 La apoptosis es una secuencia de eventos que da por resultado una fragmentación celular. Los fragmentos son fagocitados por glóbulos blancos y por las células de los tejidos circundantes.

Cuando una célula muere por daño o envenenamiento, proceso denominado **necrosis**, normalmente se hincha y explota, derramando su contenido en el entorno. Como consecuencia, se produce una inflamación que recluta leucocitos, y que puede lesionar el tejido normal que la circunda.

A diferencia de la necrosis, que es una muerte celular no controlada que causa inflamación y daños a otras células, la apoptosis es una parte normal del desarrollo y mantenimiento del organismo; es un proceso ordenado en el que no se desarrolla un proceso inflamatorio. Es un tipo de muerte activa que requiere gasto de energía por parte de la célula.

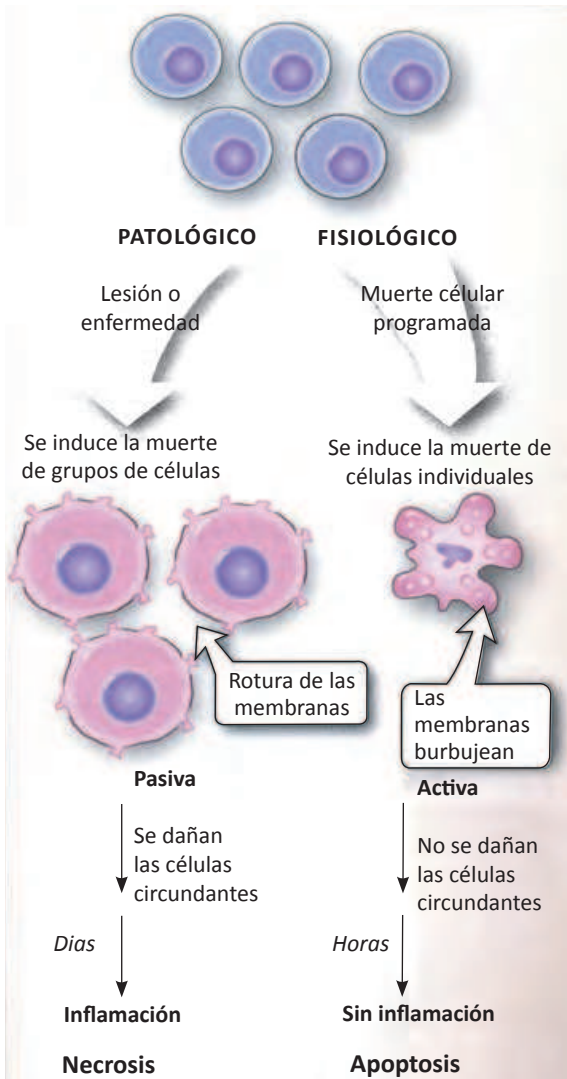


Figura 6.27 Muerte celular mediante necrosis y apoptosis.

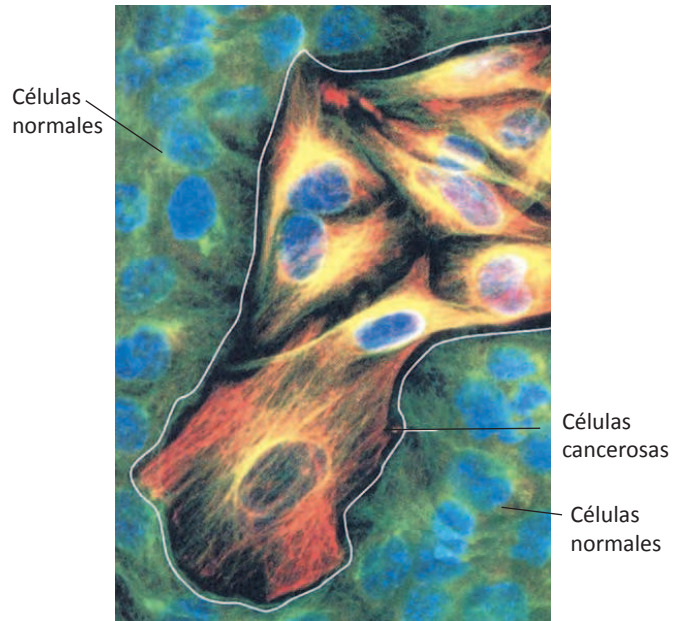


Figura 6.28 Comparación de células normales y células cancerosas. En esta micrografía, las células naranja son cancerosas y las otras células son células normales. Las células cancerosas fueron encontradas usando una técnica especial fluorescente que detecta proteínas anormales.

Una **neoplasia** es un crecimiento anormal de células. Una neoplasia benigna no es cáncer. Una neoplasia maligna es cáncer. El **cáncer** es un crecimiento celular desordenado, las células se dividen de forma incontrolada y se tornan invasivas. El cáncer resulta de la mutación de los genes que regulan el ciclo celular. Esencialmente resulta de la pérdida y alteración del ciclo celular.

Actualmente, el proceso de mitosis es un área activa de investigación biológica. Su mayor conocimiento aumenta la posibilidad de dar tratamientos eficaces para muchas enfermedades.

División celular de la célula procarionte

En el caso de las células procarióticas, como éstas no tienen núcleo, se dividen por **fisión binaria** (procariótica). Las células procariontes contienen menor cantidad de ADN que la mayoría de las células eucariontes. A pesar de esto, la distribución exacta del material genético de las células procarióticas en dos células hijas, es un proceso formidable.

El ADN procarionte normalmente consiste en un único cromosoma circular que se empaqueta con proteínas asociadas. El proceso de distribución del material genético de las células

procarionte en división, **es más simple que la mitosis**. Es un proceso muy preciso que permite que las células hijas sean genéticamente idénticas a la célula progenitora.

Los procariontes se reproducen asexualmente mediante fisión binaria, un proceso en el que la célula se divide en dos células hijas. Este proceso se describe a continuación:

1. La unión del cromosoma circular procarionte a un sitio específico de la membrana plasmática indica que la célula va a iniciar la división celular.
2. La célula se prepara para la fisión binaria: alargamiento de la pared celular, membrana plasmática y aumenta su volumen.
3. Se replica el ADN circular y al término de éste, se producen dos cromosomas idénticos. La pared celular y la membrana plasmática empiezan a crecer hacia adentro, es decir, forman invaginación en la parte central.
4. Conforme se alarga la célula, los dos cromosomas se separan y el citoplasma se distribuye uniformemente.
5. Se forman una nueva pared celular transversal entre las dos células hijas.

Tanto la fisión binaria como la mitosis dan lugar a **dos células hijas genéticamente idénticas a la célula progenitora**. Las procariontes (arqueobacterias y bacterias), protistas (muchas algas y protozoarios), y algunos hongos (levaduras) son unicelulares. La división celular en organismos unicelulares produce nuevos individuos. Esta es una forma de reproducción asexual debido a que un progenitor produce idénticos descendientes. En los hongos multicelulares, plantas y animales, la división celular es parte del proceso de crecimiento. Además la división celular es muy importante en los organismos multicelulares para renovar y reparar sus tejidos.

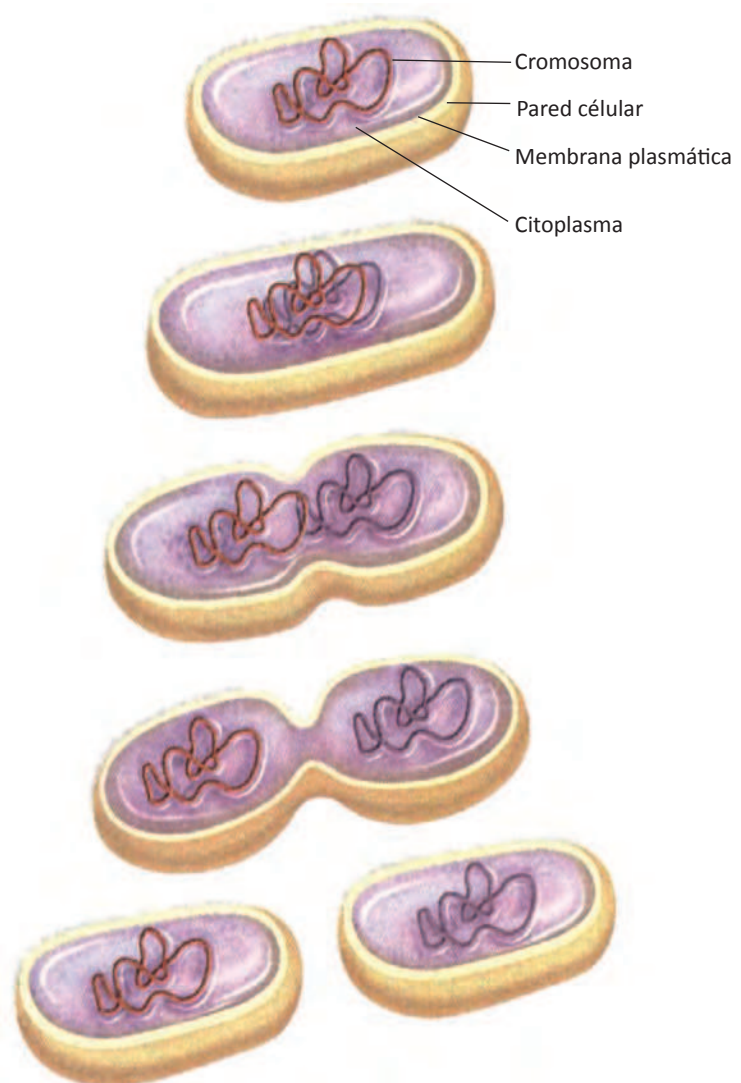


Figura 6.29 Fisión binaria. Primero se replica el ADN y conforme la célula se alarga, los dos cromosomas se separan. La célula se divide en dos células, cada una con un cromosoma idéntico al de la célula progenitora.

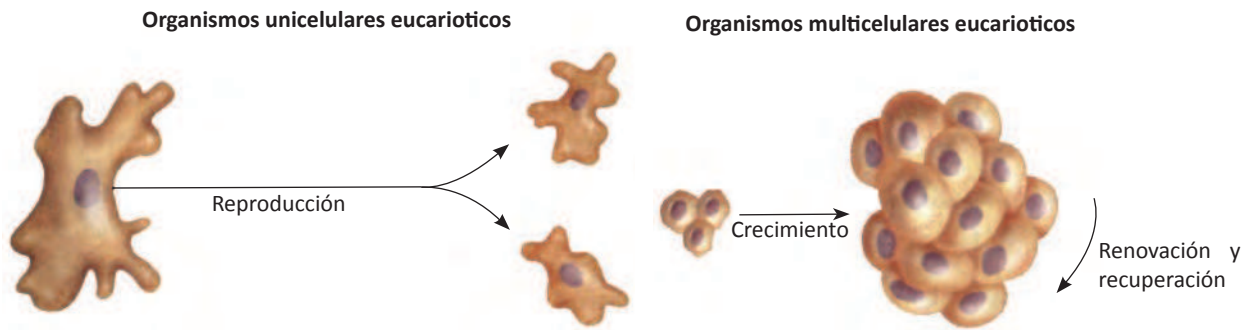


Figura 6.30 División celular de organismos unicelulares y multicelulares eucarióticos.

Reproducción sexual y meiosis

Existen dos tipos básicos de reproducción: la **asexual** y la **sexual**. En la reproducción asexual (no sexual), la célula progenitora se parte, realiza gemación o se fragmenta para producir dos o más individuos. En la mayoría de los tipos de reproducción asexual eucarionte, las células son el resultado de sucesivas divisiones mitóticas, por lo que los genes y los rasgos heredados son como los de la célula progenitora. Este grupo de organismos genéticamente idénticos se llama **clon**. En la reproducción asexual los organismos que están bien adaptados a su ambiente producen generaciones de organismos que estarán igual de adaptados. La reproducción asexual es un proceso rápido y eficiente, en parte porque el organismo no debe gastar tiempo ni energía en encontrar una pareja.

En cambio, en la reproducción sexual, intervienen dos **células sexuales** (gametos) que se unen para formar una sola célula llamada **cigoto**. En la mayoría de los organismos que se reproducen sexualmente, son dos células progenitoras las que aportan sus **gametos** (el gameto masculino procede de una célula progenitora y el gameto femenino procede de otra célula progenitora), pero en pocos casos, una única célula progenitora aporta los dos gametos. En el caso de los animales y plantas, el **óvulo** y los **espermatozoides** son los gametos. El óvulo fertilizado es el cigoto.

La descendencia obtenida por reproducción sexual no es genéticamente idéntica a sus progenitores, ni entre individuos de la misma, es decir, la reproducción sexual provoca una **variación genética** en la que algunos de sus descendientes serán capaces de sobrevivir a determinados cambios ambientales, incluso mejor que sus progenitores. Sin embargo, una desventaja de la reproducción sexual es que existe la posibilidad de que algún descendiente con una combinación de rasgos distinta a la de los progenitores, tenga menos posibilidad de sobrevivir que sus progenitores.

Cada cromosoma en una célula somática (célula corporal), vegetal o animal, generalmente es miembro de una pareja de cromosomas. Esta pareja de cromosomas se conoce como **cromosomas homólogos** y tienen un tamaño, forma y ubicación de los centrómeros similares. Además, algunas técnicas de tinción de los cromosomas generan un patrón de bandas características en los miembros de cada pareja. Los **46 cromosomas humanos** corresponden a **23 parejas homólogas**. En cada par de cromosomas, uno procede del padre y el otro de la madre.

La característica más importante de los cromosomas homólogos es que contienen información sobre los mismos rasgos genéticos, aunque esta información no tiene por qué ser idéntica.

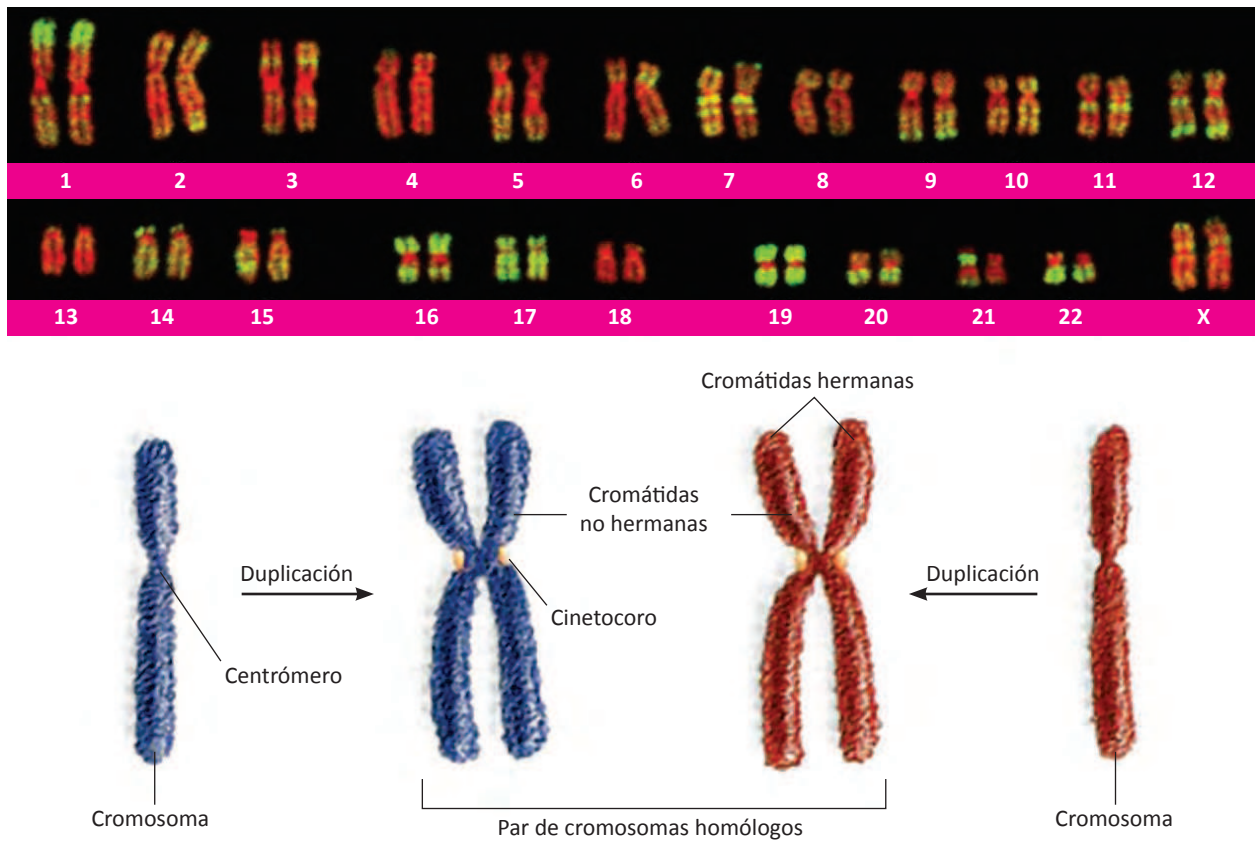


Figura 6.31 Micrografía de un cariotipo humano normal femenino (23 pares de cromosomas homólogos). Los cromosomas homólogos están acomodados desde el par más grande al más pequeño. Además, con la técnica de tinción, los cromosomas generan un patrón de bandas características en los miembros de cada pareja. En la parte inferior, un dibujo de un par de cromosomas homólogos.

Los núcleos de las células somáticas, de los cigotos y de las células germinales (las que realizarán meiosis) de los humanos tienen 46 cromosomas, es decir, 23 pares de cromosomas homólogos, se dice que tiene un **número cromosómico diploide (2n)**. Estas células son conocidas como **células diploides** porque contienen dos juegos de cromosomas. En cambio, si la célula solo contiene un juego de cromosomas, como es el caso de las células sexuales (óvulo y espermatozoides), se dice que tienen **número cromosómico haploide (n)**. Los gametos de los humanos poseen 23 cromosomas, es decir, la mitad del número de cromosomas que poseen las células diploides. Las células sexuales son **células haploides**.

El número cromosómico haploide de una especie en particular se designa **n** y el número cromosómico diploide se designa **2n**. En el ser humano $n = 23$ y $2n = 46$.

Cuando el espermatozoide y el óvulo se fusionan mediante la fecundación, cada gameto es haploide por lo que aportan cada uno, un juego de cromosomas; de esta forma el número cromosómico se restablece en el óvulo fertilizado (cigoto).

Si cada gameto presentara el mismo número de cromosomas que la célula progenitora, entonces el cigoto tendría el doble de cromosomas que el progenitor. Esta duplicación tendría lugar de generación en generación.

Cuando el cigoto se divide por mitosis para formar las primeras células del embrión (figura 1.4), cada célula hija recibe el número diploide de cromosomas y este proceso mitótico se repite en las divisiones mitóticas posteriores.

Meiosis

El término *meiosis* significa “hacer más pequeño”. La **meiosis** es un proceso que reduce el número de cromosomas a la mitad. Los ciclos vitales sexuales en los eucariontes requieren la meiosis. La reproducción sexual implica la fusión de dos células sexuales (gametos) para formar un cigoto. La meiosis permite que cada gameto contenga sólo la mitad del número de cromosomas de la célula progenitora, evitando así que los cigotos posean el doble de cromosomas que sus progenitores.

Las etapas de la meiosis son parecidas a las de la mitosis, con cuatro diferencias importantes:

- La meiosis implica **dos divisiones nucleares** y citoplásmicas sucesivas, produciendo cuatro células.
- Aunque son dos divisiones nucleares sucesivas, el ADN y otros componentes del cromosoma, **solo se duplican una vez**, durante la interfase de la primera división meiótica.
- Cada una de las **cuatro células** generadas en la meiosis, contiene un **número cromosómico haploide**, es decir, solo un juego de cromosomas con un representante de cada par homólogo.
- Durante la meiosis, cada par de cromosomas homólogos se mezcla, de tal forma que las células resultantes poseen una **combinación de genes única**.

En la meiosis, una célula realiza dos divisiones celulares y citoplasmáticas conocidas como:

- Primera división meiótica o meiosis I
- Segunda división meiótica o meiosis II

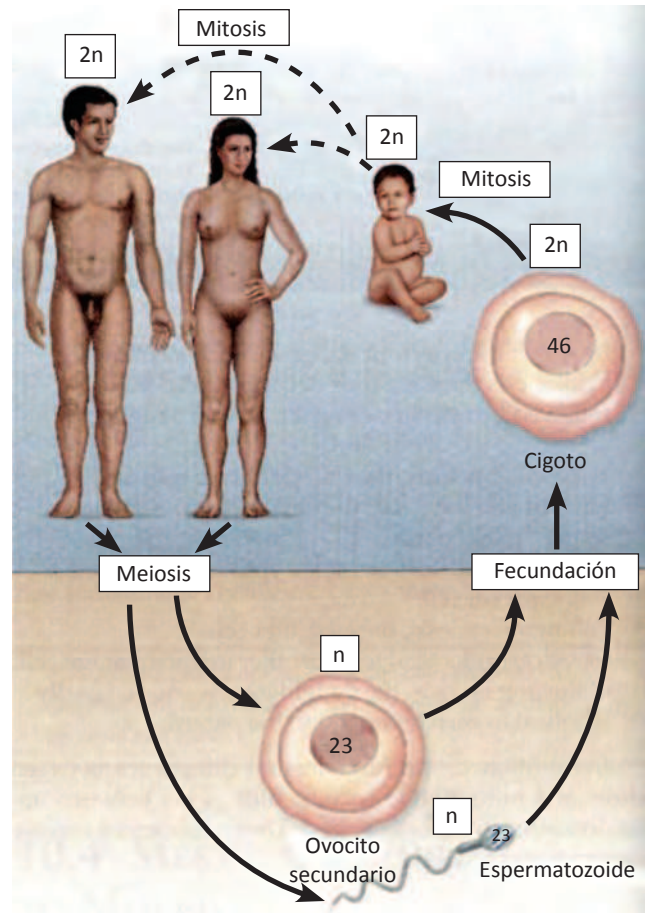


Figura 6.32 Ciclo de vida de los humanos. El varón produce espermatozoides por medio de la meiosis y la mujer óvulos, ambos gametos son haploides (n). Cuando el espermatozoide fecunda al óvulo, el cigoto resultante es diploide ($2n$). El cigoto realiza mitosis para el crecimiento del niño. Cuando ya no hay crecimiento (25 años) la mitosis continúa para reparación.

Cada una de las divisiones consta de las etapas de profase, metafase, anafase y telofase. Durante la meiosis I, los miembros de cada par de cromosomas homólogos se unen primero, y se separan después, para desplazarse a núcleos distintos. En la meiosis II, las cromátidas hermanas que forman cada uno de los cromosomas duplicados, se separan entre ellas y se distribuyen en núcleos diferentes. A continuación, se describe la meiosis de un organismo con un número cromosómico de 4.

Meiosis I: profase I, metafase I, anafase I y telofase I

Profase I

Al igual que en la mitosis, los cromosomas se duplican durante la fase S de la interfase, antes de que inicie la meiosis. Durante la **profase I**, cada cromosoma duplicado presenta dos cromátidas unidas entre sí por cohesinas. Los cromosomas homólogos se acomodan uno al lado del otro en toda su longitud. Este proceso se llama **sinapsis**, que significa “unión”. En este ejemplo, como el número diploide es 4, la sinapsis genera 2 pares homólogos.

Un miembro de cada par homólogo, se denomina **homólogo materno**, ya que fue heredado del progenitor hembra durante la formación del cigoto; el otro miembro del par homólogo es el **homólogo paterno** porque fue heredado del progenitor macho. Como cada cromosoma se duplicó durante la interfase y ahora posee dos cromátidas, por lo tanto la sinapsis es la asociación de 4 cromátidas. Esta asociación resultante se llama **tétrada**. El número de tétradas por

profase I es igual al número haploide cromosomas. En este ejemplo de una célula animal con número diploide de 4, se forman 2 tétradas (8 cromátidas en total); en una célula humana en profase I, se forman 23 tétradas (92 cromátidas en total). Los cromosomas homólogos se asocian estrechamente durante la sinapsis.

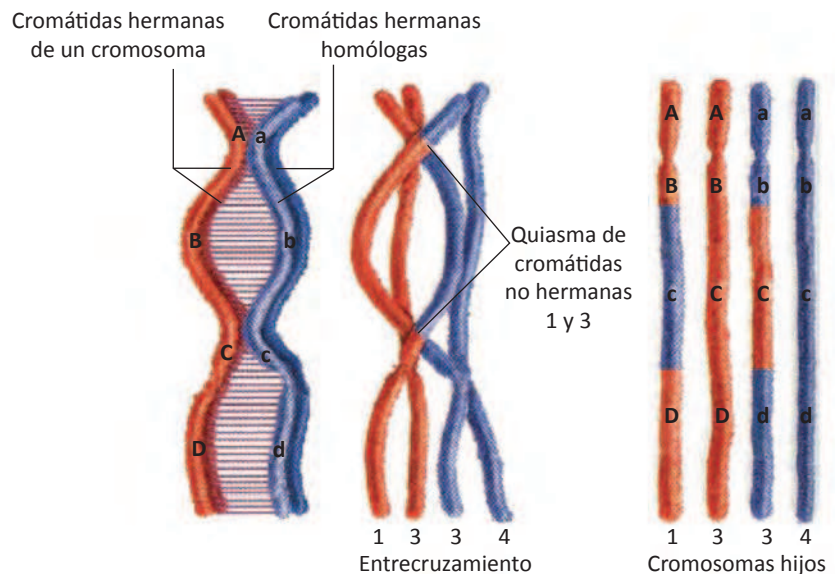


Figura 6.33 El entrecruzamiento ocurre durante la profase I de la meiosis I. El quiasma muestra el lugar donde se efectúa el entrecruzamiento.



Figura 6.34 Variación genética en cachorros.

Mientras se mantienen unidos los cromosomas homólogos en sinapsis, se efectúa el **entrecruzamiento** (crossing-over en inglés) de los cromosomas, un proceso en el que las enzimas rompen y reúnen las moléculas de ADN, permitiendo que los cromosomas homólogos apareados intercambien el material genético (ADN). El entrecruzamiento produce nuevas combinaciones de genes. La

recombinación genética durante el entrecruzamiento incrementa considerablemente la variación genética (una nueva combinación de rasgos) entre la descendencia obtenida por reproducción sexual.

Además de los procesos únicos de la sinapsis y el entrecruzamiento, durante la profase I, se realizan procesos similares a los de la profase mitótica: se forma un huso constituido de microtúbulos y otros componentes. En las células animales, un par de centriolos se desplaza a cada polo y se forman los microtúbulos astrales. La envoltura nuclear desaparece en la profase I tardía y es posible observar con el microscopio la formación de las tétradas. Durante la profase I tardía, los cromosomas homólogos se unen entre sí, solo en determinadas regiones llamadas **quiasmas**. Los quiasmas muestran el lugar donde se efectúa el entrecruzamiento y tienen forma de X.

Metafase I

Durante la **metafase I**, los pares de cromosomas homólogos se separan de las tétradas y se alinean en el plano metafásico (ecuatorial). Los dos cinetocoros hermanos de un cromosoma duplicado están unidos a un mismo polo mediante fibras del huso, mientras que los cinetocoros hermanos del otro cromosoma homólogo están unidos al polo opuesto. A diferencia de la mitosis en que los cinetocoros hermanos están unidos a polos opuestos.

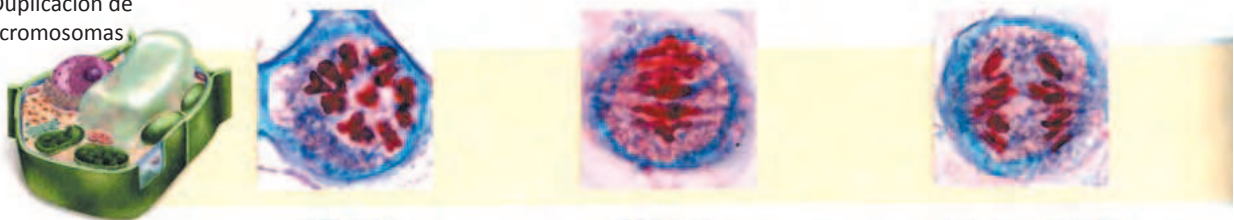
Anafase I

Durante la **anafase I**, los cromosomas homólogos se desplazan a polos opuestos, adquiriendo una forma de V, con el cinetocoro en el vértice de la V. Cada polo recibe una combinación aleatoria de cromosomas paternos y maternos, pero solo un miembro de cada pareja de homólogos está presente en cada polo. Las cromátidas hermanas **permanecen unidas** por sus regiones centroméricas. En la anafase mitótica, las cromátidas hermanas se separan y se desplazan a polos opuestos.

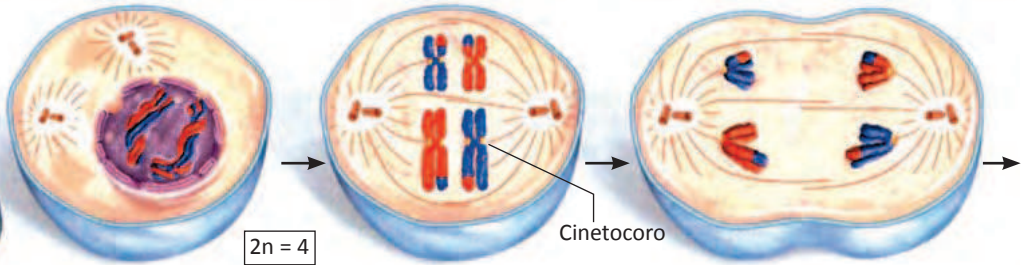
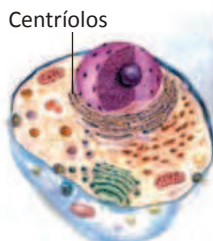
Telofase I

Durante la **telofase I**, las cromátidas se descondensan, la envoltura nuclear se reorganiza y reaparecen los nucleólos. Cada núcleo de la telofase I contiene un **número haploide cromosomas**, pero cada cromosoma está formado por **un par de cromátidas** (un cromosoma doble). En nuestro ejemplo, dos cromosomas duplicados se sitúan en cada polo, con un total de 4 cromátidas; el ser humano tiene 23 cromosomas dobles (46 cromátidas) en cada polo.

Célula vegetal en interfase
Duplicación de cromosomas



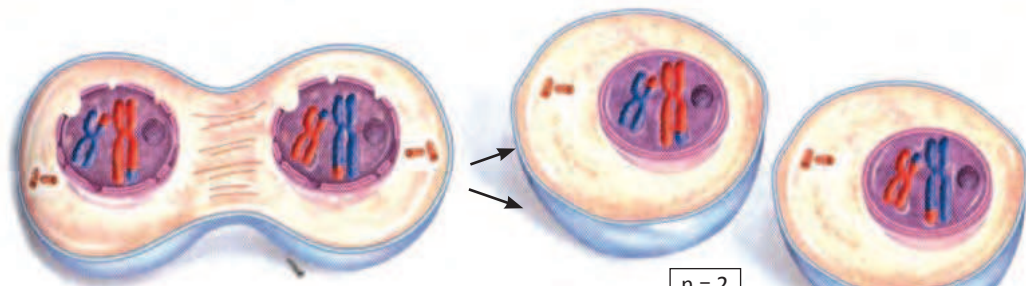
Célula animal en interfase
Duplicación de cromosomas



Profase I
Los cromosomas homólogos forman pares durante la sinapsis y se efectúa el entrecruzamiento

Metafase I
Los pares homólogos se alinean independientemente en el plano metafásico

Anafase I
Los cromosomas homólogos se separan y migran hacia los polos



Telofase I
Las células hijas tienen un cromosoma de cada par homólogo

Intercinesis
Los cromosomas todavía consisten de dos cromátidas

Figura 6.35 Micrografía de célula vegetal y dibujo de una célula animal de las fases de Meiosis I: profase I, metafase I, anafase I y telofase I.

En seguida de la telofase tiene lugar la **intercinesis**. Este proceso es similar a la interfase que se efectúa entre las divisiones mitóticas. Dado que no es una interfase verdadera porque no existe ninguna fase S y por lo tanto el ADN no se replica porque los cromosomas están duplicados. La intercinesis es muy breve en la mayoría de los organismos y en algunos no existe.

Meiosis II: profase II, metafase II, anafase II y telofase II

Profase II

La **profase II** es muy parecida en muchos aspectos a la profase mitótica. No se forman pares de cromosomas homólogos (de hecho sólo un miembro de cada par está presente en el núcleo) ni entrecruzamiento.

Metafase II

Durante la **metafase II** los cromosomas se alinean en los planos medios de las células. En la metafase II los cromosomas se colocan en grupos de 2 (como en la metafase mitótica).

Anafase II

Durante la **anafase II** las cromátidas unidas a las fibras del huso por sus cinetocoros, se separan y se mueven hacia polos opuestos, tal como sucede en la anafase mitótica. Al igual que en la mitosis, cada cromátida se llama ahora cromosoma.

Telofase II

Durante la **telofase II**, hay un miembro de cada par de cromosomas homólogos en cada polo. Cada uno es un cromosoma no duplicado (cromosoma sencillo). Las envolturas nucleares se reensamblan, el cromosoma se alarga gradualmente para formar las hebras delgadas de cromatina y reaparecen los nucleólos. En seguida se efectúa la citocinesis.

Las dos divisiones sucesivas de la meiosis dan lugar a **cuatro núcleos haploides** que contienen **un cromosoma de cada tipo**. Cada célula haploide resultante tiene una combinación genética distinta, esto es debido a que se intercambian fragmentos de ADN entre los homólogos maternos y paternos durante el entrecruzamiento. Además, durante la meiosis, los cromosomas paternos y maternos de pares homólogos se separan independientemente. Los cromosomas se mezclan de tal manera que un miembro de cada par se distribuye al azar en uno de los polos de la anafase I.

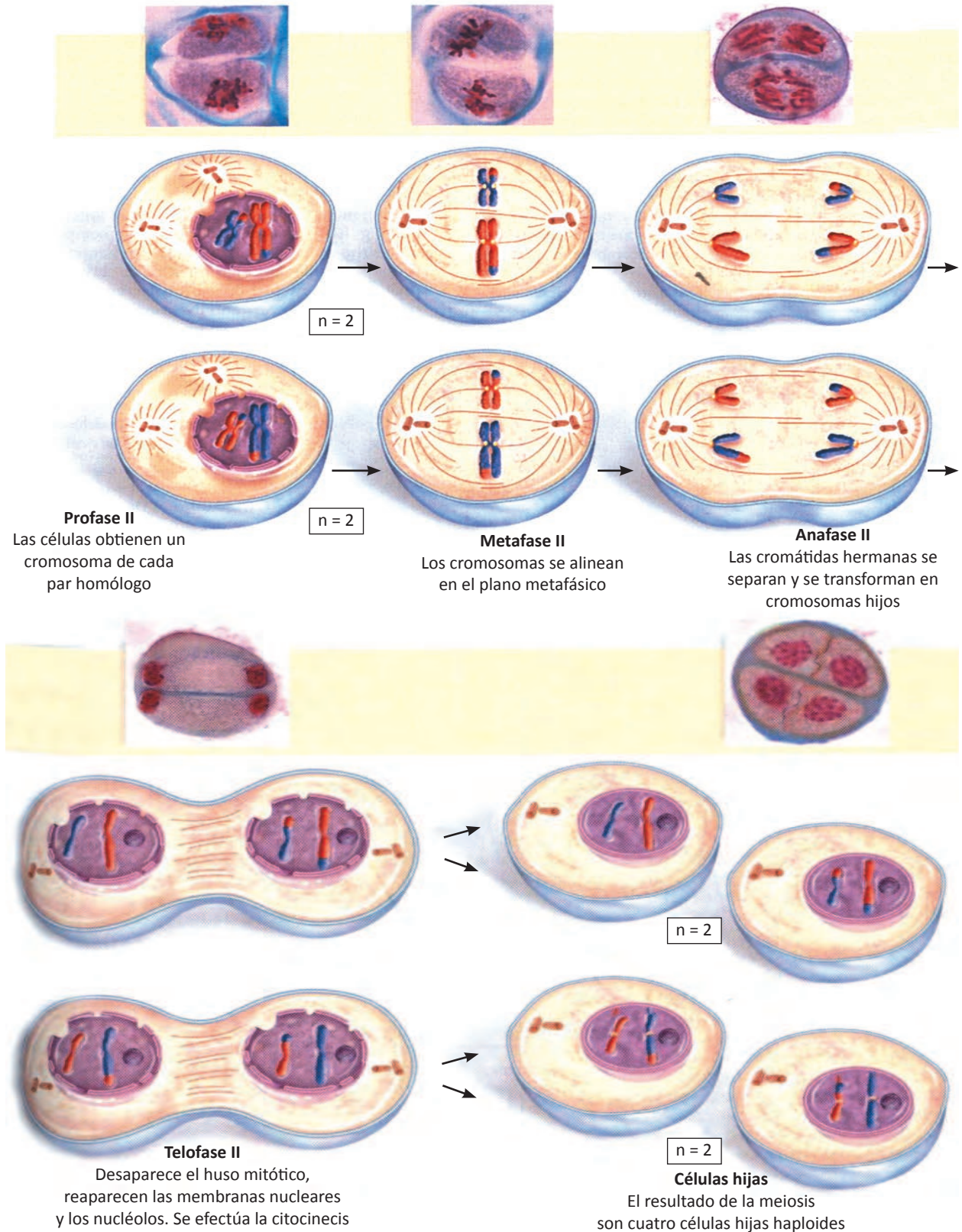


Figura 6.36 Micrografías de célula vegetal y dibujos de célula animal de las fases de la meiosis II: profase II, metafase II, anafase II y telofase II.

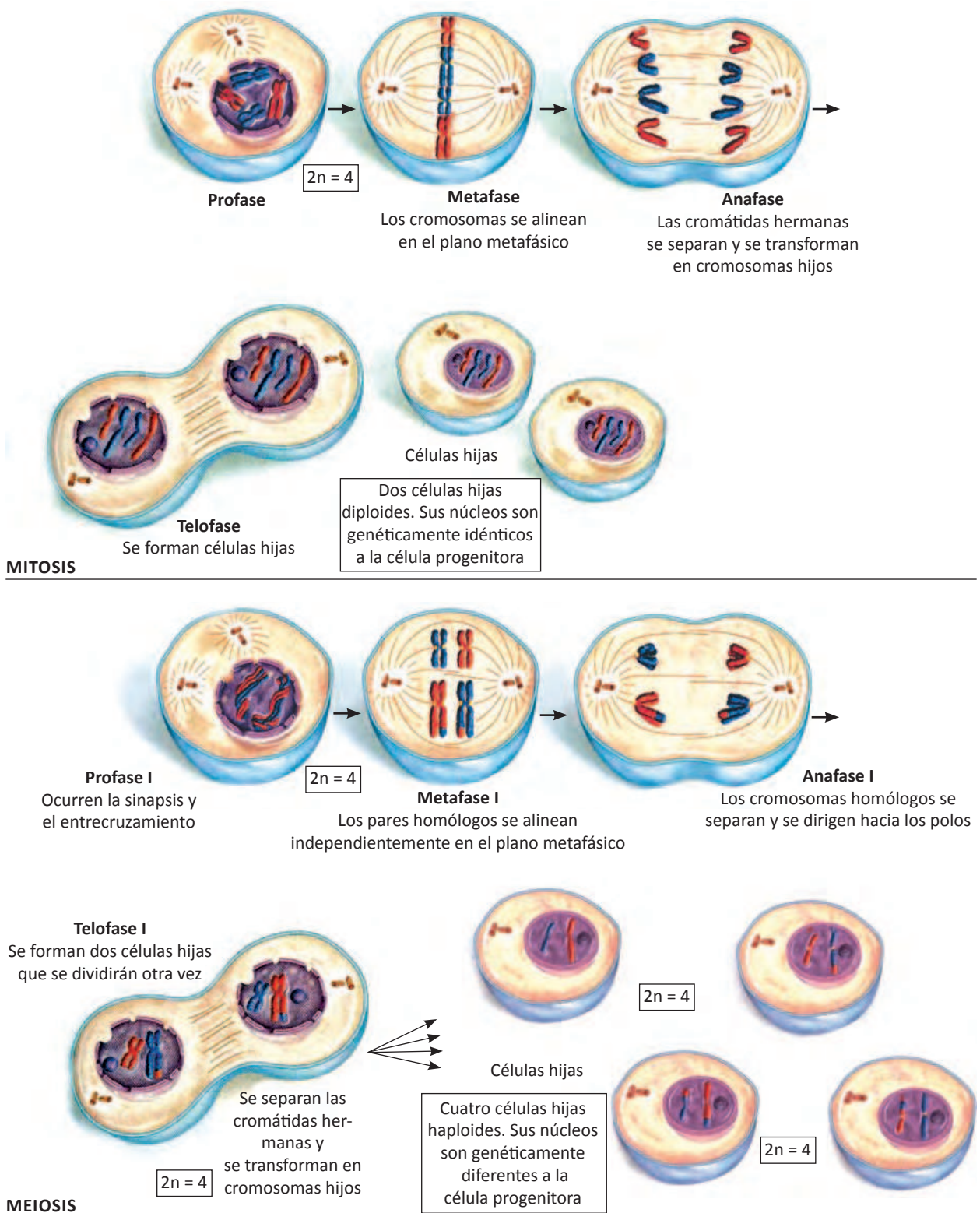


Figura 6.37 Comparación entre mitosis y meiosis. La mitosis produce 2 células hijas con el mismo número de cromosomas que la célula progenitora (diploides), mientras que la meiosis produce 4 células con la mitad del número de cromosomas (haploides).

Comparativo entre los dos tipos de divisiones celulares

La mitosis y meiosis comparten muchas características similares, sin embargo, entre ellas existen diferencias específicas porque producen diferentes tipos de células.

La **mitosis** es una única división nuclear en la que las cromátidas hermanas se separan entre sí. Si se lleva a cabo la citocinesis, se distribuyen entre las **dos células hijas diploides** que son **genéticamente idénticas entre sí** y con **la célula progenitora**. Durante la mitosis, los cromosomas homólogos no se asocian físicamente en ningún momento. Mediante la mitosis se multiplican las células somáticas (corporales) y son diploides. La mitosis se realiza para el crecimiento de los individuos y para reparación de tejidos (heridas, quemaduras).

En la **meiosis**, una célula diploide realiza **dos divisiones nucleares** sucesivas: **meiosis I** y **meiosis II**. En la profase I de la meiosis, los cromosomas homólogos forman **sinapsis** para generar **tétradas**. Durante la meiosis I, los cromosomas homólogos se separan y las cromátidas hermanas durante la meiosis II. La meiosis finaliza con **la producción de cuatro células hijas haploides** que son **genéticamente distintas**. El destino de estas células depende del tipo de ciclo vital; en las células animales se diferencian en gametos, mientras que en las plantas se distinguen en esporas. Tanto los gametos como las esporas son células haploides.

Compara la metafase mitótica y la metafase I de la figura 6.37, solamente en la metafase I están los pares de cromosomas homólogos en el plano metafásico. En la anafase I se separan los pares de cromosomas homólogos y se forman células hijas haploides. Los cromosomas azules fueron aportados por el progenitor paterno y los cromosomas rojos fueron aportados por el progenitor materno. El intercambio de color entre las cromátidas no hermanas, representa el entrecruzamiento que ocurrió durante la meiosis I.

Gametogénesis

Se conoce como **gametogénesis** la formación de los gametos. La gametogénesis masculina conocida como **espermatogénesis** forma *cuatro espermatozoides* por cada célula que experimenta meiosis. En cambio, la gametogénesis femenina, denominada **ovogénesis** forma solamente *un óvulo* por cada célula que experimenta meiosis.

Espermatogénesis

En los humanos, como en la mayoría de los animales, los sexos están separados. En los machos, la **espermatogénesis** ocurre dentro de los testículos, y en las hembras, la ovogénesis ocurre dentro de los ovarios. Los testículos contienen células madre llamadas **espermatogonias**, y estas se someten a la espermatogénesis produciendo espermatoцитos primarios. La espermatogénesis está descrita en la figura 6.35. Los espermatoцитos primarios cargados con 46 cromosomas son sometidos a la **meiosis I** para formar **dos espermatoцитos secundarios**, cada uno con 23 cromosomas dobles. Los espermatoцитos secundarios se someten a la **meiosis II** para producir **cuatro espermátides** con 23 cromosomas hijas. Después, los espermátides se

diferencian en **cuatro espermatozoides**. En la excitación sexual, el espermatozoide entra a los ductos y sale del pene en la eyaculación.

Ovogénesis

Los ovarios contienen células madre llamadas **ovogonias** que activamente producen **ovocitos primarios** durante el desarrollo fetal. Los ovocitos primarios cargados con 46 cromosomas se someten a la **ovogénesis** una vez que la hembra es sexualmente madura. Los ovocitos primarios, a través de la **meiosis I**, se dividen en dos células, cada una de las cuales posee 23 cromosomas. Una de estas células, llamada **ovocito secundario**, recibe casi todo el citoplasma. La otra célula es llamada **primer cuerpo polar** que puede desintegrarse o dividirse nuevamente. El ovocito secundario comienza la **meiosis II** pero **se detiene en la metafase II**. Entonces, el ovocito secundario sale del ovario y entra en el oviducto, donde los espermatozoides pueden estar presentes. Si no hay espermatozoides en el oviducto o el ovocito no es fecundado, éste se desintegrará eventualmente. Si un espermatozoide fecunda al

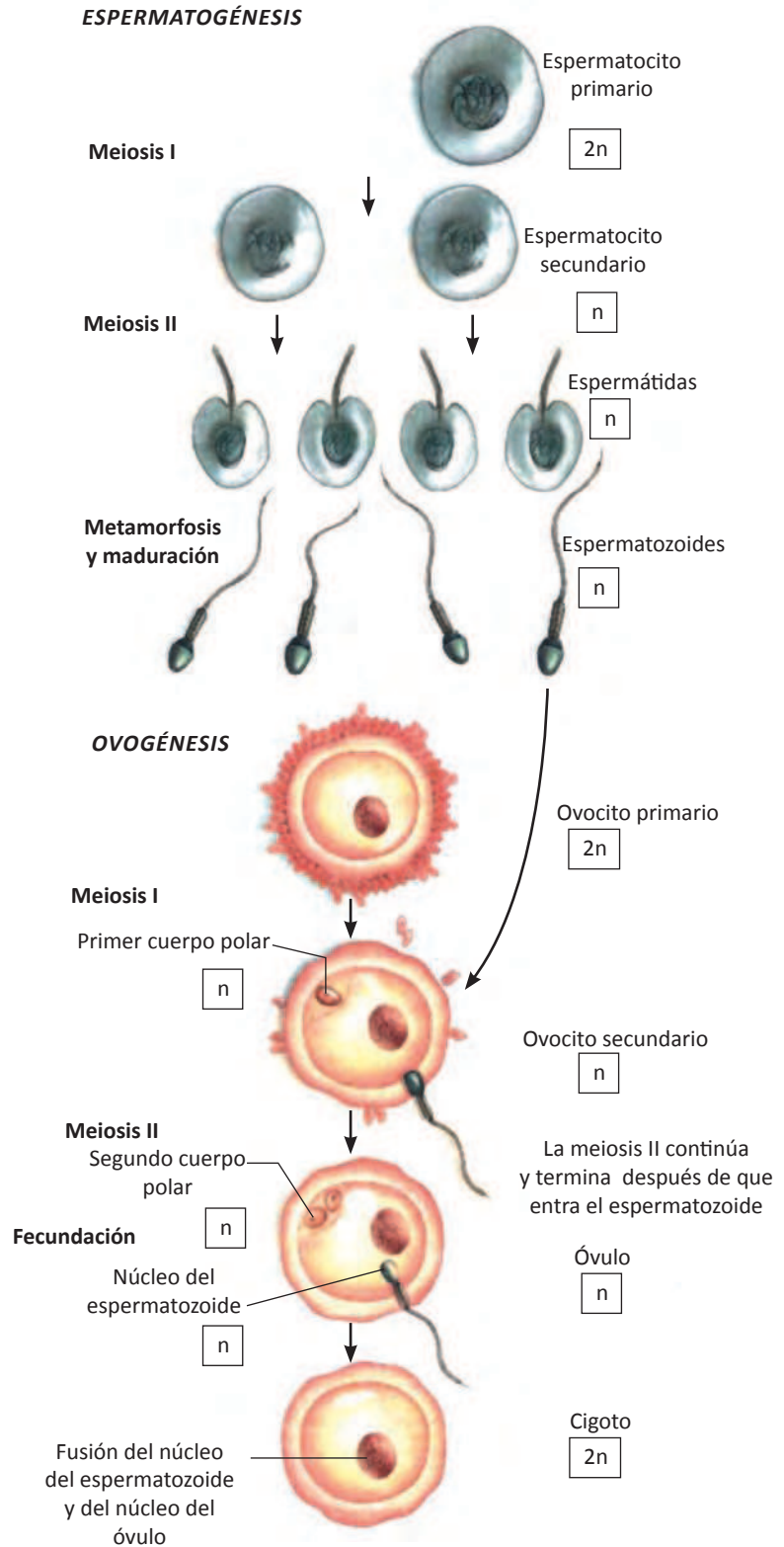


Figura 6.38 Espermatogénesis y ovogénesis en mamíferos. La espermatogénesis produce 4 espermatozoides, mientras que la ovogénesis produce un ovocito secundario y dos cuerpos polares.

ovocito secundario, este se activa y continúa con la **meiosis II**, y se forma el **segundo cuerpo polar**. Al término de la ovogénesis, seguido de la fecundación por un espermatozoide, entonces habrá un óvulo y de dos a tres cuerpos polares. Los cuerpos polares son una forma de almacenaje de cromosomas mientras que el óvulo retiene la mayoría del citoplasma. Tras la fecundación, las moléculas de reserva contenidas en el citoplasma, serán utilizadas por el embrión en desarrollo.

El óvulo maduro tiene 23 cromosomas pero el **cigoto** resultante de la fusión de los núcleos del espermatozoide y del óvulo ahora tiene 46 cromosomas. En otras palabras, la fecundación restaura la diploidía de los cromosomas. Después de la fecundación, el cigoto resultante se somete a la mitosis durante el desarrollo del feto (etapa antes del nacimiento). Después del nacimiento, la mitosis está involucrada en el crecimiento del niño y para reparar los tejidos en todo momento. Como resultado de la mitosis, la cual ocurre durante la mayoría del ciclo de vida, cada célula somática en el organismo tiene el mismo número de cromosomas.

AUTOEVALUACIÓN
Repaso de la unidad

Contesta lo que se te pide

1. Describe el núcleo celular.

2. Explica la diferencia entre número cromosómico haploide y diploide.

3. Explica la profase I.

4. Menciona las diferencias entre mitosis y meiosis.

5. Observa el núcleo de la figura 6.3. ¿En qué fase del ciclo celular se encuentra?

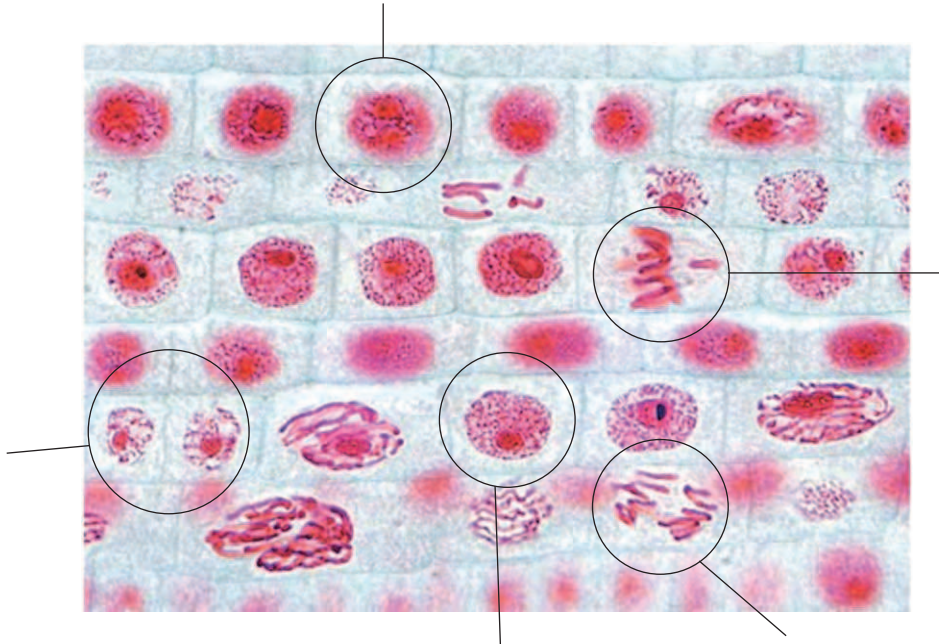
6. Si el número cromosómico diploide del camello es 74. ¿Cuántas tétradas se forman en la profase I? _____ ¿Cuántas cromátidas en total? _____.

7. ¿Qué diferencia existe entre espermatogénesis y ovogénesis?

8. ¿Qué función desempeñan las citoquininas?

9. ¿Qué ventajas tiene la meiosis sobre la mitosis?

10. Escribe el nombre a las células que están encerradas en círculo. Las fases de la mitosis y la interfase.



Indica cual de las siguientes afirmaciones son verdaderas (v) o falsas (f)

1. La envoltura nuclear está integrada por una membrana que posee numerosos poros. ()
2. Las cromátidas hermanas están físicamente unidas por un complejo de proteínas con forma de anillo llamadas cohesinas. ()
3. El cinetocoro es un complejo multiproteínico al cual se pueden unir los microtúbulos. ()
4. La célula pasa la mayor parte de su vida en división. ()
5. Las histonas facilitan el empaquetamiento del cromosoma. ()
6. La cromatina se observa cuando la célula está en división celular (mitosis o meiosis) y los cromosomas cuando la célula está en interfase. ()
7. El proceso de distribución del material genético de las células procarionte en división, es más simple que la mitosis. ()
8. Las citoquininas inducen la mitosis durante el crecimiento normal de una planta y durante la recuperación de una herida. ()
9. La mitosis inicia al finalizar la fase G_2 . ()
10. El huso mitótico tiene como función separar los cromosomas duplicados durante la anafase. ()

Selecciona la opción correcta

1. Inicia con la formación de un anillo contráctil de actiomiosina:
 - a. La citocinesis de una célula vegetal
 - b. La citocinesis de una célula animal
 - c. La citocinesis de una célula procariótica
 - d. La citocinesis de una célula fúngica
 - e. b y d son correctas

2. A medida que la célula mitótica avanza de metafase a anafase, las _____ restantes que unen a las cromátidas hermanas en la región centromérica, se van disociando:
 - a. Histonas
 - b. Condensinas
 - c. Cohesinas
 - d. Ciclinas
 - e. a y d son correctas.

3. En esta fase de la mitosis, los cromosomas se descondensan y nuevamente aparece la cromatina. Reaparecen las envolturas nucleares y los nucleólos:
 - a. Prometafase
 - b. Profase
 - c. Anafase
 - d. Metafase
 - e. Telofase

4. Contiene un juego de 8 moléculas de histonas formando un centro proteínico alrededor del cual se enrolla la doble cadena de ADN:
 - a. Nucleótido
 - b. Nucleosoma
 - c. Nucleocápside
 - d. Genoma
 - e. Cromosoma

5. Consta de dos procesos principales: la mitosis y la división del citoplasma:
 - a. Fase M
 - b. Interfase
 - c. Fase G₂
 - d. Prometafase
 - e. Ninguna es correcta

6. Durante la fase G_1 :
- La célula crece y se prepara para la fase S
 - Se sintetiza el ADN y las proteínas de los cromosomas
 - Aumenta la síntesis de proteínas para preparar la célula para la división celular.
 - Se divide el citoplasma para originar dos células hijas.
 - c y d son correctas.
7. La fase G_1 , fase S y fase G_2 conforman:
- La anafase I
 - El ciclo celular
 - La interfase
 - La mitosis
 - La citocinesis
8. La prometafase:
- Es la segunda fase de la mitosis.
 - Inicia cuando la envoltura nuclear ha sido desintegrada y se internaliza en vesículas para usarla más tarde.
 - Es la tercera fase de la mitosis.
 - Todavía no tiene el huso mitótico totalmente formado.
 - a y b son correctas.
9. Los microtúbulos polares del huso mitótico:
- Se extienden de cada polo y se unen a los cinetocoros de los cromosomas.
 - También son conocidos como no-cinetocóricos
 - No están unidos a los cinetocoros de los cromosomas, sino que se extienden de cada polo de la región ecuatorial, donde se superponen entre ellos.
 - Irradian en todas las direcciones formando un áster.
 - b y c son correctas.
10. La placa celular vegetal, se genera a partir de:
- Una línea de vesículas originadas en el complejo de Golgi.
 - Una línea de vesículas originadas en el retículo endoplásmico rugoso.
 - Una línea de vesículas originadas en el retículo endoplásmico liso.
 - Una línea de vesículas originadas en las mitocondrias.
 - Una línea de vesículas originadas en los plástidos.

En la siguiente sopa de letras, localiza lo que se te pide:

1. Organelo más voluminoso en células eucarióticas.
2. Número cromosómico de óvulos y espermatozoides.
3. Etapa en la que la célula no se divide.
4. Proteínas que facilitan el empaquetamiento del cromosoma.
5. Región angosta de las cromátidas.
6. Matriz semifluida del núcleo celular en la que se encuentra el material genético y los nucléolos.
7. Consiste en dos divisiones celulares sucesivas.

N	U	C	L	E	O	P	L	A	S	M	A
E	S	T	R	O	M	A	L	I	Q	U	E
S	O	N	I	V	E	L	A	D	O	H	S
R	I	U	X	E	R	O	F	I	T	A	T
U	S	C	U	O	J	A	V	N	E	P	M
N	R	L	I	G	E	R	I	T	O	L	E
E	C	E	N	T	R	O	M	E	R	O	I
I	N	O	C	E	N	T	E	R	H	I	O
S	U	D	A	F	R	I	X	F	I	D	S
E	S	T	R	E	L	A	I	A	G	E	I
G	H	I	S	T	O	N	A	S	A	F	S
R	E	S	P	U	E	S	C	E	L	E	Z

ACTIVIDADES DE LABORATORIO

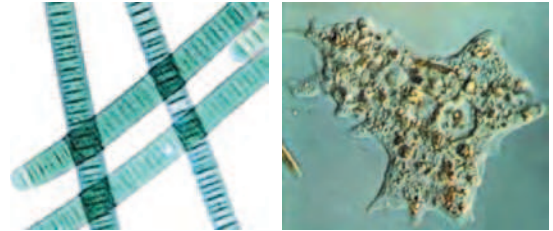


Actividad 1

Células procarióticas y células eucarióticas

Habilidades

- Observar
- Comparar
- Determinar
- Manipular.



Problema

¿Cuáles son las diferencias existentes entre las células procarióticas y las células eucarióticas?

Estrategia

Durante esta investigación, observarás diversos organismos y determinarás cuáles son células procarióticas y cuáles eucarióticas.

Hipótesis

Las células eucarióticas poseen **núcleo bien definido** (el material genético está rodeado por una doble membrana, la membrana nuclear) mientras que las células procarióticas tienen el material genético libre en el citoplasma, además éstas carecen del resto de organelos membranosos.

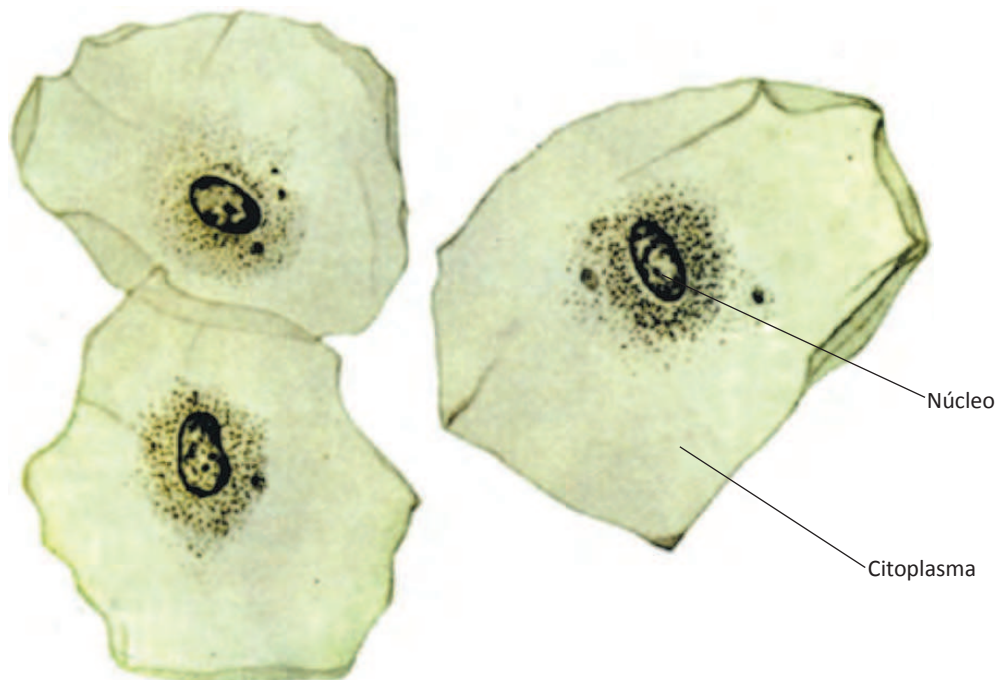


Figura 1.1. Células epiteliales de la mucosa bucal humana.

Materiales

- Microscopio
- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Palillos de dientes
- bisturí, etc.

Material biológico

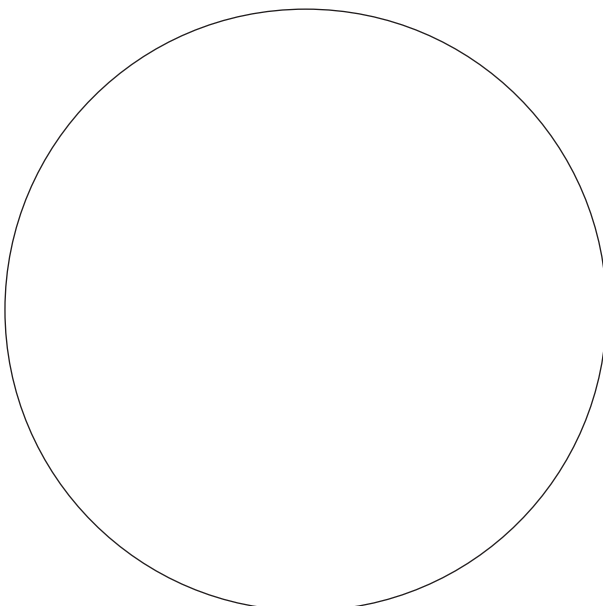
- Lechuga
- Agua de charca
- Sarro dental
- Epitelio bucal.

Reactivos:

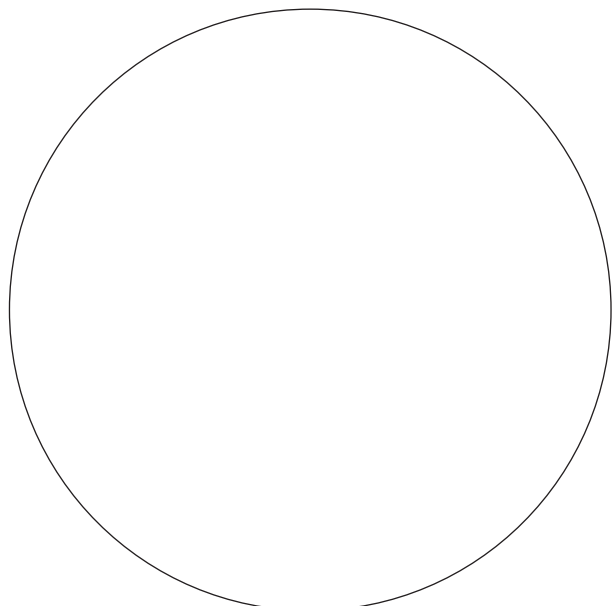
Azul de metileno.

Procedimiento

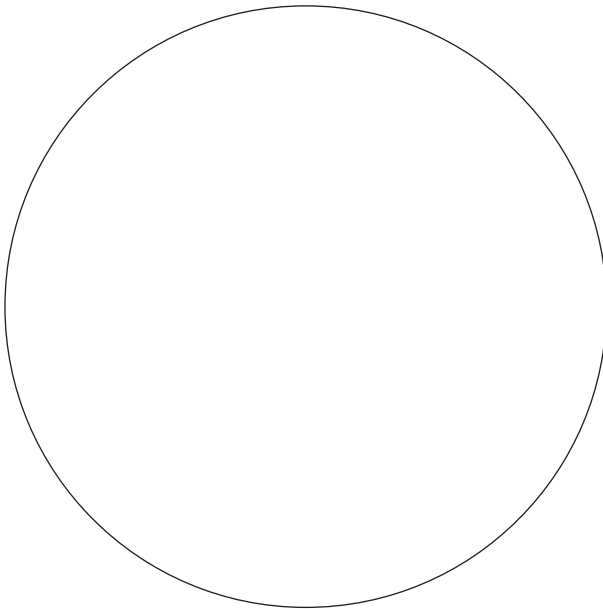
1. Elabora una preparación microscópica con:
 - a) Epitelio de lechuga
 - b) Epitelio bucal
 - c) Sarro dental
 - d) Una gota de agua de charca
2. Observa cada una de ellas en el microscopio.
3. Dibuja cada una de tus observaciones.



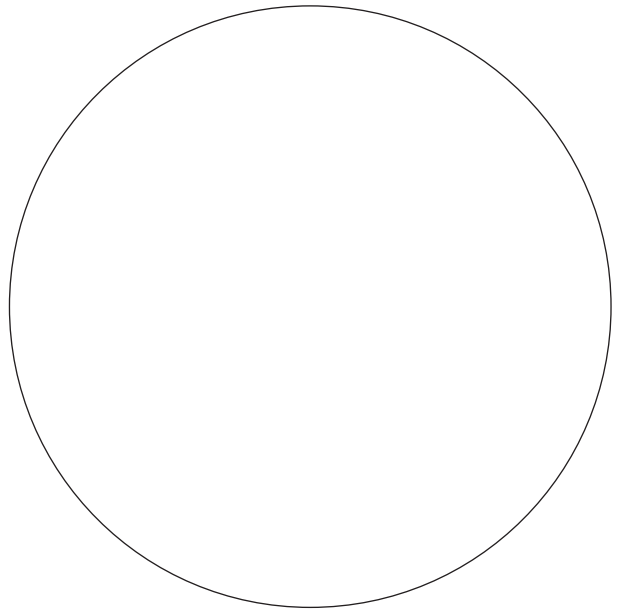
Dibujo 1.1. *Epitelio de lechuga.*



Dibujo 1.2. *Epitelio bucal.*



Dibujo 1.3 *Sarro dental.*



Dibujo 1.4 *Agua de charca.*

Análisis:

1. ¿Cómo se llaman los microorganismos que observaste en el sarro dental? _____.
Estos pertenecen al reino _____, ya que son células _____.
2. ¿Qué otro reino está integrado por células procarióticas? _____.
3. Escribe los nombres de las células eucarióticas que observaste:

4. ¿Cuáles son los reinos que están constituidos por células eucarióticas?
_____, _____, _____ y _____.

Conclusión

Basándose en las diferencias que observaste entre células procarióticas y eucarióticas redacta tu conclusión.

Actividad 2

Soluciones hipotónicas, isotónicas e hipertónicas

Habilidades

- Manipular
- Observar
- Comparar
- Contrastar.



Problema

¿Qué efectos ocasionan las soluciones hipotónicas e hipertónicas a los glóbulos rojos?

Estrategia

Durante esta actividad, observarás qué efecto producen a las células sanguíneas rojas una solución isotónica, una **hipertónica** y una hipotónica.

Hipótesis

Cuando los glóbulos rojos se encuentran en una solución **hipotónica**, éstos se ponen turgentes ya que entra agua, mientras que en una solución **hipertónica** pierden agua.

Material

- Un vaso de precipitado de 250 ml
- Agitador de vidrio
- 3 pipetas
- 3 portaobjetos con excavación
- 6 portaobjetos
- Lancetas
- Algodón
- Alcohol

Material biológico

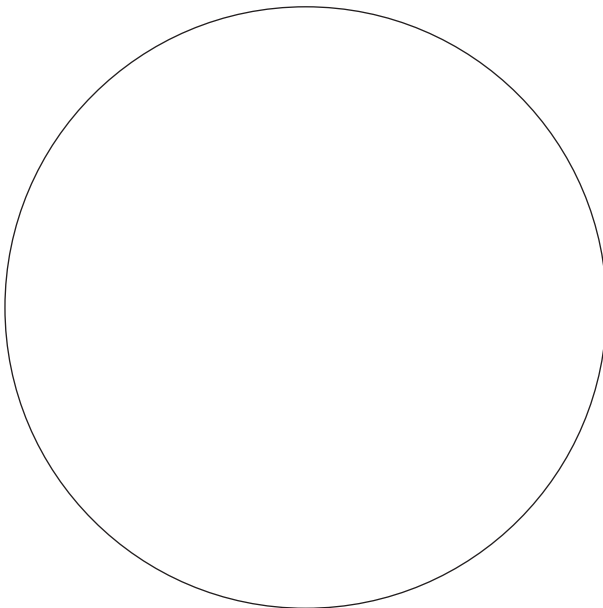
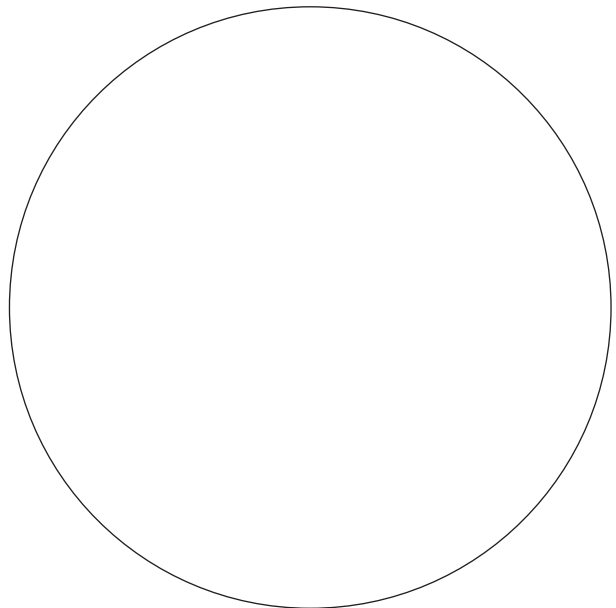
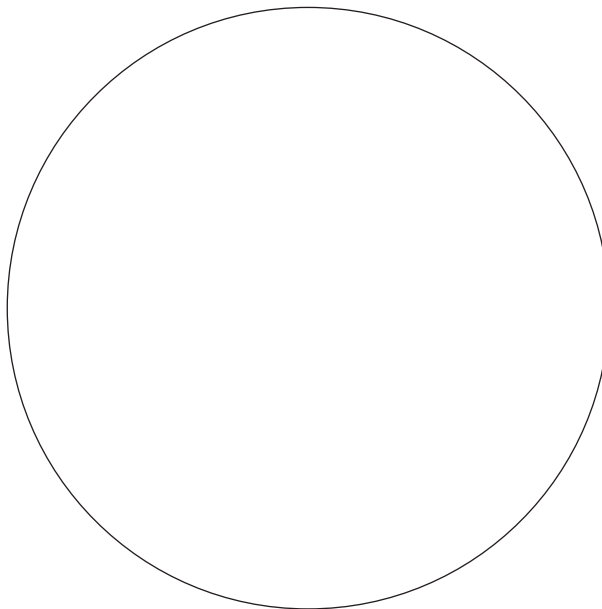
- Sangre.

Reactivos

- Agua destilada (solución hipotónica)
- Suero fisiológico (solución isotónica)
- Solución de NaCl mayor al 0.9% (solución hipertónica).

Procedimiento

1. Con la lanceta pincha el dedo medio de alguno de tus compañeros, coloca una gota de sangre en cada uno de los portaobjetos con excavaciones.
2. Agrégale a la primera gota de sangre una gota de solución isotónica, a la segunda gota de sangre agrégale solución hipotónica y a la tercera gota de sangre, una gota de solución hipértónica.
3. Mueve cada uno de los portaobjetos de tal manera que se homogenice la mezcla.
4. Elabora una extensión con cada una de las mezclas.
5. Observa las tres extensiones al microscopio.
6. Dibuja tus observaciones.

**Dibujo 2.1** *Glóbulos rojos en solución isotónica.***Dibujo 2.2** *Glóbulos rojos en solución hipértónica.***Dibujo 2.3** *Glóbulos rojos en solución hipotónica.*

Análisis

1. ¿Qué les sucedió a los glóbulos rojos en la solución hipotónica?

_____ . Explica científicamente que sucedió.

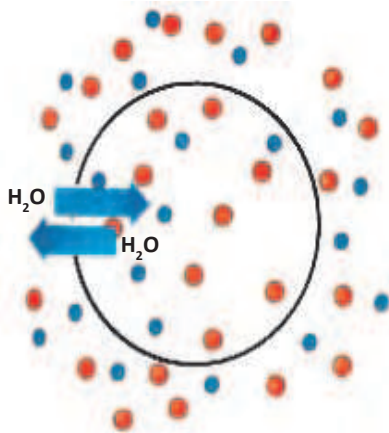
2. ¿Por qué no se observaron cambios en los glóbulos rojos en la solución isotónica?

3. ¿Qué les sucedió a los glóbulos rojos en la solución hipertónica?

Conclusión

Basándote en tus observaciones, redacta tu conclusión.

CONCENTRACIÓN DE AGUA



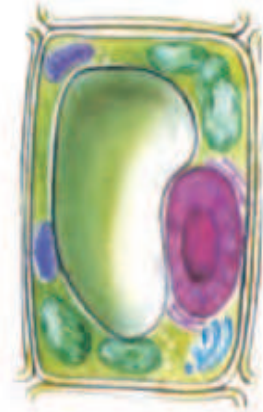
a) Igual concentración de agua

GLÓBULO ROJO (animal)

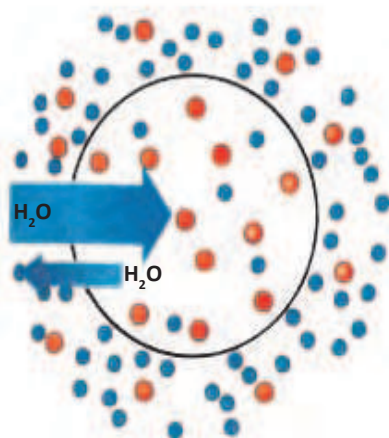


La célula no se altera

CÉLULA DE ELODEA (vegetal)



La célula no se altera



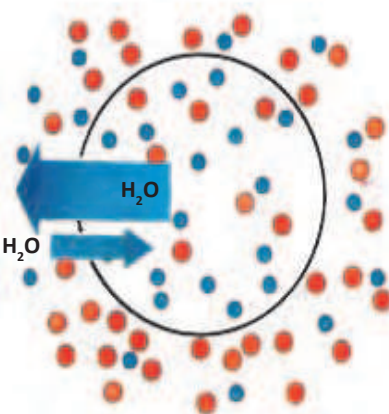
b) Mayor concentración de agua fuera de la célula



La célula estalla (Citólisis)



La célula se hincha



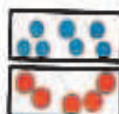
c) Mayor concentración de agua dentro de la célula



La célula se encoge (Plasmólisis)



El contenido celular se encoge



Moléculas de agua

Sustancias disueltas

Figura 2.1 Efectos de la concentración de agua en una célula animal (glóbulo rojo) y en una célula vegetal, (Elodea).

Actividad 3

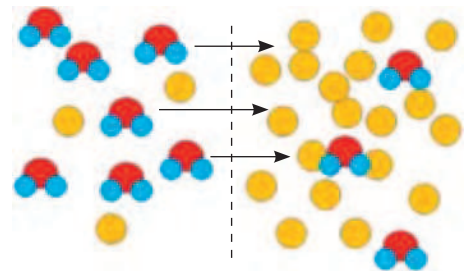
Ósmosis y diálisis

Habilidades

- Manipular
- Observar
- Registrar.

Problema

- ¿Qué es la ósmosis?
- ¿Qué es la diálisis?
- ¿Qué diferencia existe entre la ósmosis y la diálisis?



Estrategia

Durante esta actividad, verificarás que se lleva a cabo la ósmosis y la diálisis.

Hipótesis

La ósmosis es la **difusión de solvente** y la diálisis es la **difusión de soluto** a través de una membrana semipermeable.

Materiales

- Pipeta graduada de 1 ml
- 2 ligas
- Vaso de precipitado (p.p.) de 1000 ml
- Vaso de precipitado de 100 ml
- Soporte universal
- Pinza para bureta
- Bolsa de celofán
- Agitador de vidrio
- Gradilla
- 3 tubos de ensayo
- Mechero
- Pinza para tubo de ensayo
- 5 pipetas de 10 ml.

Material biológico

- Clara de huevo diluida en agua.

Reactivos

- Solución de nitrato de plata (AgNO_3)
- Fehling A y B
- Solución de hidróxido de sodio (NaOH)
- Solución de sulfato de cobre (CuSO_4)
- 5 gramos de glucosa
- 3 gramos de cloruro de sodio
- Agua destilada.

Procedimiento

1. En el vaso de p.p. con 50 ml de agua destilada, disuelve 5 g de glucosa, 3 g de cloruro de sodio y 5 ml de la solución de clara de huevo.
2. Corta un trozo de bolsa de celofán, (20 cm aproximadamente), amarra un extremo, vacía dentro, la solución que acabas de preparar, introduce la pipeta de 1 ml y amarra la parte superior con otra liga. Asegúrate que no haya fugas.
3. Introduce la bolsa ya amarrada de ambos extremos dentro del agua del vaso de 1000 ml.
4. Coloca el vaso de 1000 ml sobre la base del soporte y con una pinza sujeta la pipeta de manera que quede recta, tal como se observa en el esquema del pizarrón.
5. Toma nota del nivel de la solución dentro de la pipeta y el tiempo. Toma lectura cada 5 minutos 3 veces y anota las décimas de mililitros ascendidos.
6. Después de observar durante 15 minutos, toma 3 ml de la solución del vaso de 1000 ml y deposita 1 ml en cada uno de los 3 tubos de ensayo, procede a realizar las siguientes pruebas de identificación.
 - a) Para identificar la proteína, al primer tubo que contiene 1 ml de solución, agrégale 2 ml de la solución de NaOH , mezcla y agrega gota a gota CuSO_4 . Si aparece un color violeta, indica la presencia de proteínas.
 - b) Para identificar cloruros, al segundo tubo agrégale unas gotas de AgNO_3 . La formación de un precipitado blanco indica que si hay cloruros.
 - c) Para identificar azúcares, al tercer tubo, agrégale 1 ml de Fehling A y 1 ml de Fehling B, calienta a la flama del mechero. Si aparece un color que va del amarillo al rojo ladrillo indica la reacción positiva.

Análisis

1. ¿Se llevó a cabo la ósmosis? _____ ¿Cómo lo verificaste? _____

¿Por qué entran las moléculas de agua a la bolsa de celofán?

2. ¿Cuáles solutos comprobaste que sí llevaron a cabo la diálisis?

3. Si algún soluto no llevó a cabo la diálisis, explica por qué no pudo realizarla.

4. Explica en qué caso se llevaría a cabo la osmosis del interior de la bolsa de celofán al exterior de ella.

Conclusión

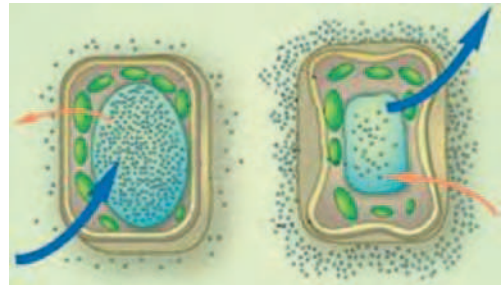
Basándote en la diferencia que hay entre la ósmosis y la diálisis, elabora una conclusión.

Actividad 4

Fenómenos de ósmosis celular: turgencia y plasmólisis

Habilidades

- Manipular
- Observar
- Comparar
- Contrastar.



Problema

¿Qué diferencia existe entre la turgencia y la plasmólisis?

Estrategia

Durante esta actividad, elaborarás dos preparaciones para observar células que están turgentes y células plasmolizadas.

Hipótesis

En las células **plasmolizadas**, la vacuola queda reducida, porque el medio en que ha sido colocada tiene mayor concentración osmótica de sal que la célula por lo tanto, la célula pierde agua a través de su membrana, aumentando la concentración del plasma celular, hasta adquirir la concentración similar a la del líquido que la rodea. En las células **turgentes** sucede lo contrario.

Materiales

- Microscopio
- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Aguja enmangada
- Pinzas finas
- Lanceta
- Vaso de precipitado de 250 ml.
- Gotero

Material biológico

- Cebolla morada.

Reactivos

- Agua destilada
- Solución salina al 30 %

Procedimiento

1. Con la punta de la lanceta, haz una incisión no profunda en la cara interior de la cebolla.
2. Con la punta de las pinzas rasga y consigue un pequeño fragmento de la epidermis.
3. El material obtenido se lleva directamente sobre un portaobjeto con una gota de agua destilada.

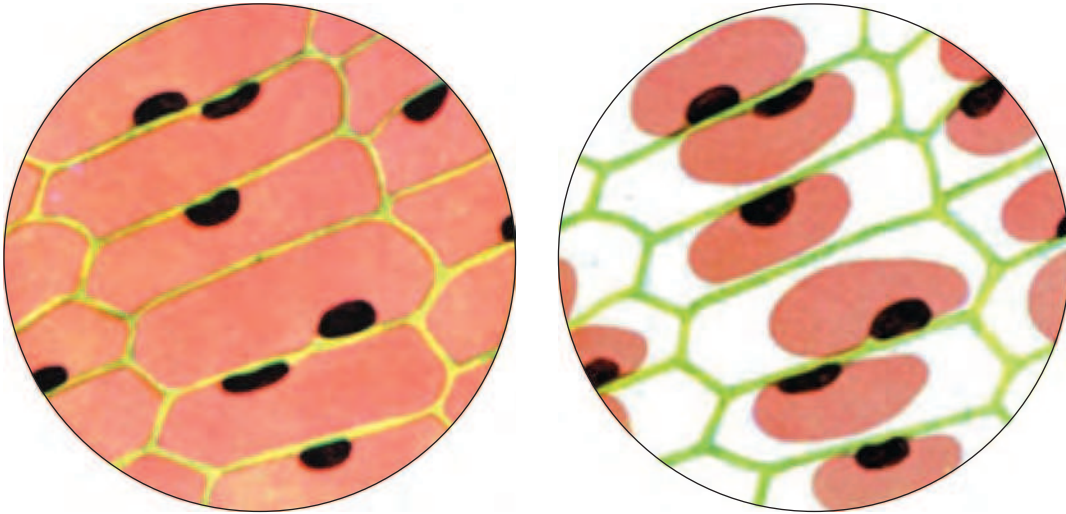
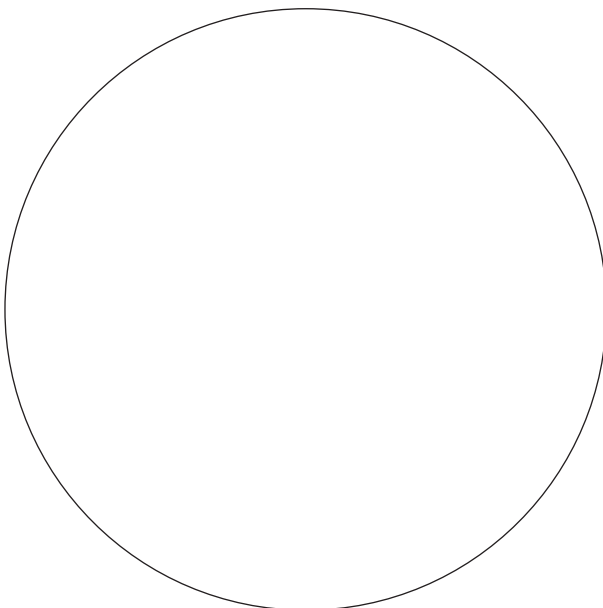
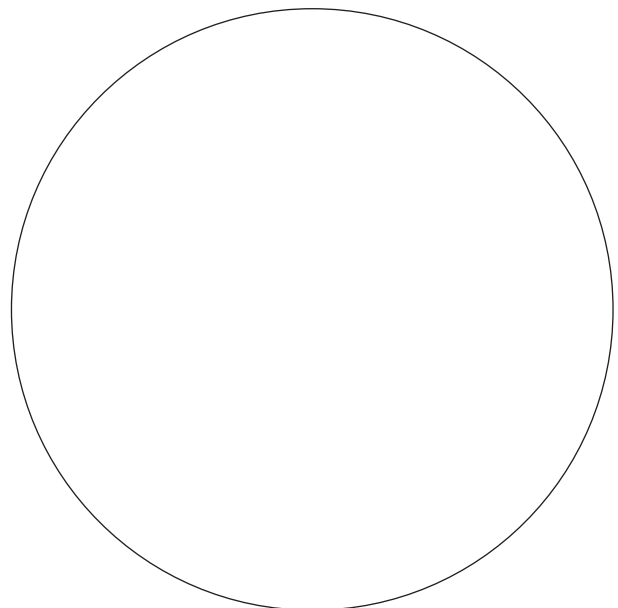


Figura 4.1 *Células turgentes (izquierda) y plasmolizadas (derecha) de la epidermis de la cebolla morada.*

4. Coloca el cubreobjetos y observa al microscopio.
5. Prepara un segundo fragmento de epidermis de cebolla (paso 1 y 2), llévalo sobre un portaobjetos en el que previamente se ha colocado una gota de solución de azúcar o sal al 30 %.
6. Coloca el cubreobjetos y observa al microscopio.
7. Continúa observando la preparación durante cinco minutos hasta que observes la vacuola reducida (casi esférica) adherida a una de las paredes celulares.
8. Dibuja tus observaciones.



Dibujo 4.1 *Célula rodeada de agua destilada.*



Dibujo 4.2 *Célula rodeada de solución salina.*

Análisis

1. ¿Cómo se observan las células que están rodeadas de agua destilada?

Explica por qué se observan así.

¿Por qué no estallan estas células?

2. ¿Qué sucedió con las células que están rodeadas de solución salina?

¿Por qué?

Conclusión

Basándote en las diferencias que tiene esta actividad con la anterior redacta tu conclusión.

Actividad 5

Cloroplastos y cromoplastos

Habilidades

- Manipular
- Observar
- Comparar.

Problema

¿Qué similitud y qué diferencia existe entre cloroplastos y cromoplastos?

Estrategia

Durante esta actividad, elaborarás preparaciones microscópicas para observar los cloroplastos y los cromoplastos.

Hipótesis

Los **cloroplastos** son organelos celulares que contienen clorofila, por lo tanto se encuentran en las partes verdes de las plantas (hojas y tallos tiernos). Los **cromoplastos** poseen pigmentos rojos, amarillos y anaranjados y de ellos depende el color de las flores, frutas, verduras y las hojas en el otoño.

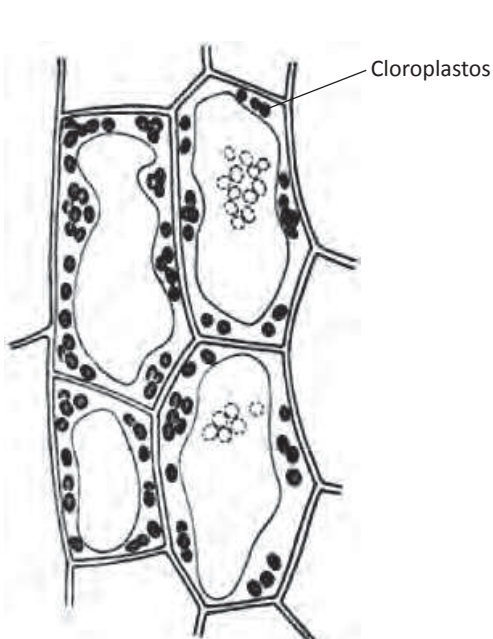


Figura 5.1 Cloroplastos en células de Elodea.

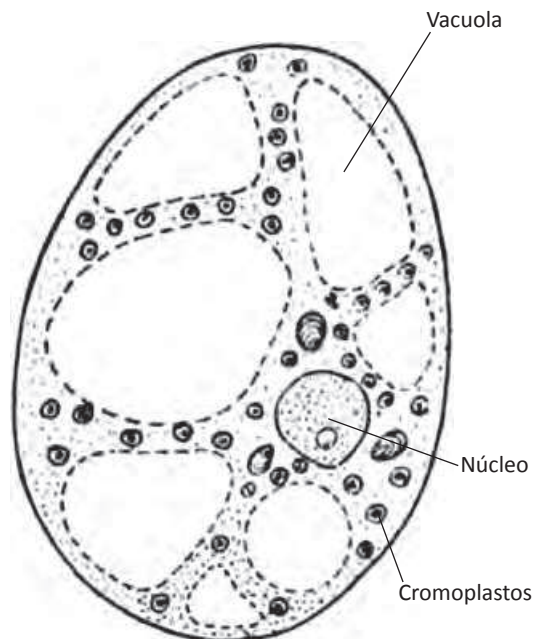


Figura 5.2 Cromoplastos es una célula de tomate.

Materiales

- Microscopio
- Cubreobjetos
- Portaobjetos
- Navaja o bisturí.

Procedimiento

1. Coloca un portaobjetos con una gota de agua, se deja bien extendida una hoja de Elodea, joven y verde, y coloca el cubreobjetos.
2. Observa al microscopio con aumentos débiles para localizar la zona de visión más clara, cambia a aumentos fuertes. Enfoca los cloroplastos que circulan por el interior de la célula debido a las corrientes citoplasmáticas (ciclosis).
3. Corta con la navaja un pequeño trozo de un milímetro de grosor de la parte pulposa del tomate indicada en la figura 5.3. Llévalo sobre un portaobjetos, sin poner agua. Comprime suavemente la preparación con el cubreobjetos.
4. Observa en el citoplasma una serie de gránulos rojizos-anaranjados, que son los cromoplastos.
5. Dibuja tus observaciones.

Material biológico

- Hojas de Elodea canadiense
- Pulpa de tomate

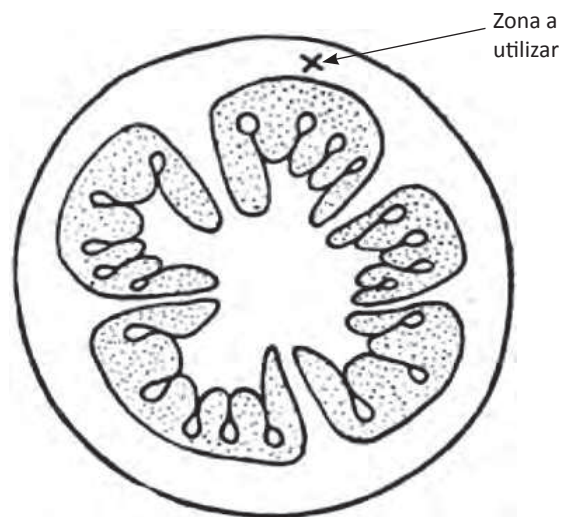
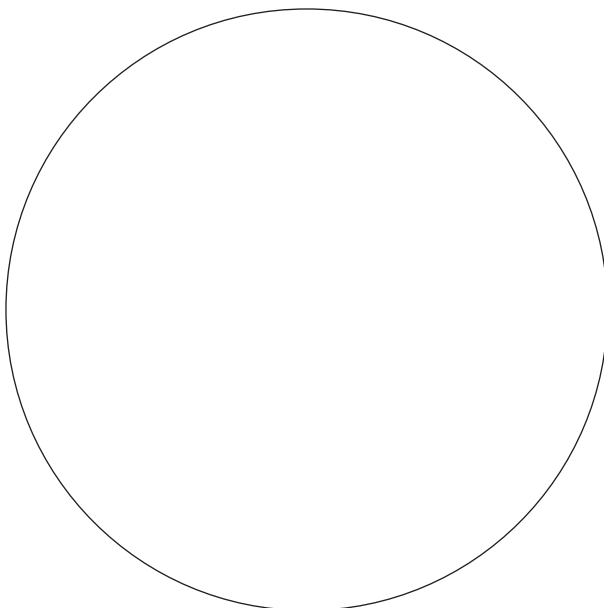
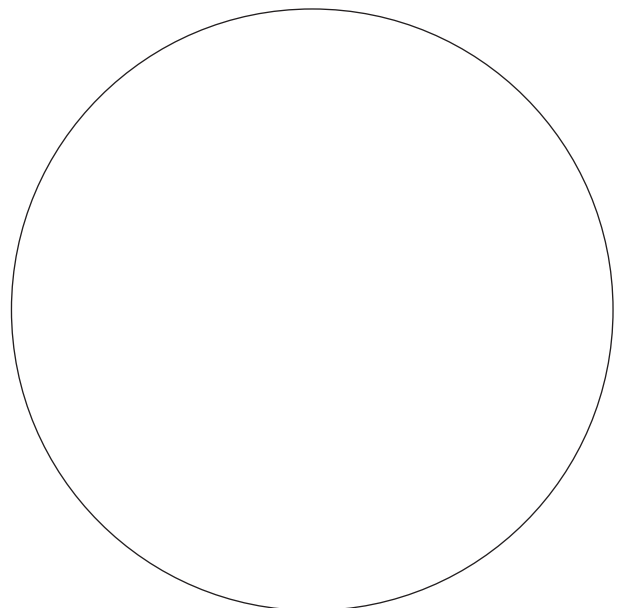


Figura 5.3 Pulpa de tomate.



Dibujo 5.1 Célula de Elodea.



Dibujo 5.2 Célula de pulpa de tomate.

Análisis

1. ¿Observaste ciclosis? _____ ¿Cómo se llaman los organelos que la realizan?
_____. ¿Cuál es su función? _____

2. ¿Cuál es la función de los cromoplastos?

Conclusión

Basándote en las diferencias que observaste entre cloroplastos y cromoplastos, redacta tu conclusión.

Actividad 6

Cromatina sexual X (corpúsculo de Barr)

Habilidades

- Manipular
- Observar
- Determinar.



Problema

¿Para qué nos sirve observar la cromatina sexual X?

Estrategia

Durante esta investigación, observarás los núcleos de las células del epitelio bucal en interfase para determinar cuántos cromosomas X tiene.

Hipótesis

La observación de la cromatina sexual X, no es un sustituto de un estudio citogenético (determinación del cariotipo), sino que solamente **nos da el número de cromosomas X** de la persona en estudio.

Materiales

- Microscopio
- Portaobjetos
- Cubreobjetos
- Palillos de dientes
- Colorante orceína acética.

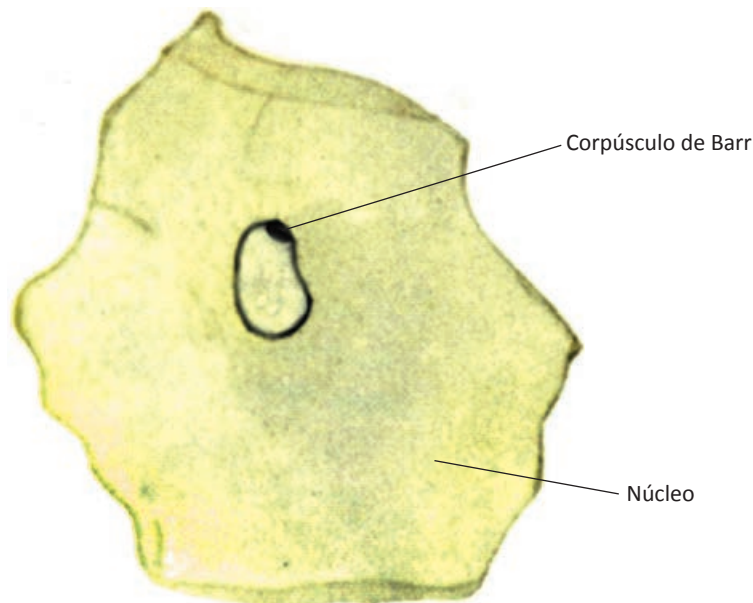
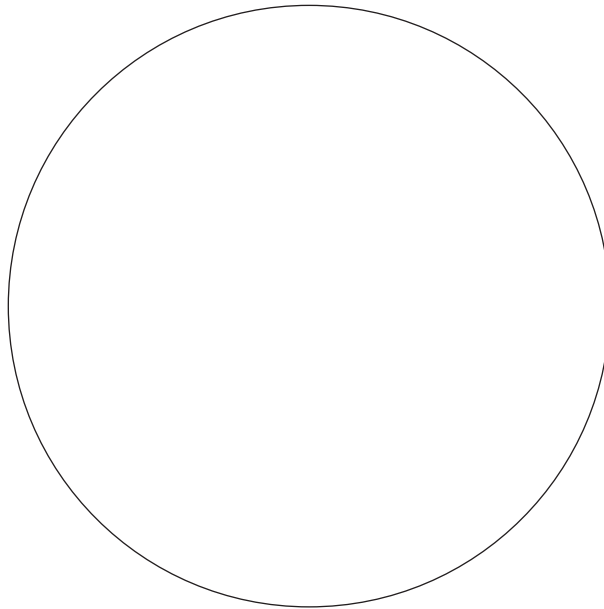


Figura 6.1 Célula del epitelio bucal.

Procedimiento

1. En un portaobjetos, deposita una gota de orceína acética y con el extremo grueso de un palillo, frota la cara interna de la mejilla, coloca este material en la gota de colorante, mueve rotativamente el palillo para que las células se separen. Coloca un cubreobjetos y procede a observar.
2. En el siguiente espacio, dibuja una célula en la que se observa el corpúsculo de Barr (recuerda que en células del epitelio bucal, sólo en el 10 % de ellas se observa).

**Dibujo 6.1****Análisis**

1. Basándote en la fórmula:

$$\text{Número de cromosomas X} - 1 = \text{Corpúsculo de Barr}$$

¿Por qué en las células de los varones no se observa el corpúsculo de Barr?

2. De los siguientes cariotipos:

46,XY

47,XXY

46,XX

45,X

47,XXX

¿En cuáles se observa un corpúsculo de Barr? _____ y _____.

Conclusión

Basándote en tus observaciones, elabora tu conclusión.

Bibliografía

- Alberts, Bruce y cols., *Introducción a la Biología celular*, 3ª ed., México: Médica Panamericana, 2011.
- Chandar, N. y S. Viselli. *Biología molecular y celular*. China: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2011.
- Lodish, Harvey y cols., *Biología celular y molecular*, 5ª ed., Buenos Aires: Médica Panamericana, 2009.
- Sánchez González, D. J. y Trejo Bahena N. I. *Biología celular y molecular*, 1ª ed., México: Alfil, 2008.
- Mader, Sylvia S. *Biology*, 9ª ed., Estados Unidos: McGraw-Hill, 2007.
- Ledesma Mateos, I. *Historia de la Biología*, 1ª ed., México: AGT editor, 2000.
- Miller, K. R. y J. S. Levine. *Biología*. Estados Unidos: Pearson Prentice Hall, 2010.
- Biggs, Alton y cols. *Biología*. China: Glencoe/McGraw-Hill, 2007.
- Campbell, M. *Biología, conceptos y relaciones*. 3ª edición. México: Pearson Educación, 2001.
- Oram, R. F., *Biology Living Systems*. Ohio: Glencoe/McMillan/ McGraw-Hill, Estados Unidos, 1994.
- Solomon, E. P., L.R. Berg y D. W. Martin. *Biología*, 8ª ed., China: McGraw-Hill Interamericana, 2008.
- Savín Vázquez, C. *Biología celular*. México: trillas, 2007.
- Margulis L. y K. Schwartz. *Five kingdoms. An illustrated guide to the phyla of life on earth*. 3ª ed., New York: 1998.
- Curtis, H. et al., *Invitación a la Biología*, 6ª edición. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2006.
- Biggs, Alton y cols. *Biología*. China: Glencoe/McGraw-Hill, 2007.
- Welch Claude A y cols. *Ciencias biológicas*, Novena Impresión, Caracas Venezuela, 1980.
- Vázquez Trujillo A, Aguilar Carrasco J.C. Extracción y observación directa (a simple vista) de ADN por medio de reactivos convencionales y de muy bajo costo (propuesta para el maestro) en La Actividad Experimental en el aprendizaje de las Ciencias naturales y Exactas. Culiacán, Sinaloa., enero del 2000.
- García Velázquez Álvaro. *Manual de Prácticas de microscopía, Biología I*, Cuarta edición. ENO-SA. Artes gráficas, Madrid, 1973.

Procedencia de las ilustraciones

UNIDAD 1

Introducción a la Biología celular

Figura 1.2 tomada de Miller, K.R. y J.S. Levine. Biología.

Figuras 1.6, 1.7 (Dibujo de Hooke), *1.21, 1.23, 1.24, 1.31, 1.33, 1.34* tomadas de Mader, Sylvia S. Biology.

Figuras 1.10, 1.11, 1.12 tomadas de Alberts, Bruce y cols., Introducción a la Biología celular.

Figuras 1.13, 1.14, 1.15 y *1.16* tomadas de Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. Biología.

Figuras 1.9, 1.28, 1.32 (4 figuras) tomada de Biggs, Alton y cols. Biología.

Figuras tomadas de internet

Figura 1.1 http://3.bp.blogspot.com/_Kkj_wh5ePcU/SGUxzBGDa6I/AAAAAAAAAAU/vSUdlyITJxk/s400/celules600es.jpg

Figura 1.3 <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.monografias.com/trabajos81/embrion-aborto-y-pildora-del-dia-siguiente/image001.jpg&imgrefurl> (Fecundación)

Figura 1.4 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com/_bjoK-cKN-hA/SnSPgj3AJdI/AAAAAAAAAR4/f76Pboz0LHw/s320/cigoto%2By%2Bm%C3%B3rula.bmp&imgrefurl (Desarrollo embrionario)

Figura 1.5 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://4.bp.blogspot.com/_KMCxi-jG1Nss/SpGq492NhTI/AAAAAAAAAWQ/eFag9SSKdWQ/s400/eyeofscience_com%2B03.jpg&imgrefurl=http://chicossigloxxisexto.blogspot.com/2009_08_01_archive.html&usg=__leOAHs2uoTYGm2dDlFvdtPW0- (glóbulos rojos y un glóbulo blanco)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://static.blogoi.it/tecnologiablog/tecnologiablog_1neuronas.jpg&imgrefurl=http://www.tecnologiablog.com/tag/neuronas&usg=__HrOUfpOw7xyuvjdX_7stdN- (neuronas)

http://2.bp.blogspot.com/_1nuzdTcJ1wQ/RiAwuh05BII/AAAAAAAAAiW/tXijP3Nrhq0/s200/sperm.jpg (espermatozoides)

Figura 1.7 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com/_fDtL3HeagA/TIXYWICj5sI/AAAAAAAAAfo/96yxq7Pmkq4/s1600/Microscopio%2Bde%2BHooke.bmp&imgrefurl (microscopio de Hooke)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://imagenes.mailxmail.com/cursos/imagenes/3/3/biologia.-teoria-celular-160-1-2_33733_2_1.jpg&imgrefurl (paredes celulares del corcho)

Figura 1.8 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.kalipedia.com/kalipedia-media/cienciasnaturales/media/200704/17/delavida/20070417klpcnavid_64.les.SCO.jpg&imgrefurl (microscopio de Leuwenhoek)

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.ssvisuals.com/images/scientists/s37leeuwenhoek_big.jpg&imgrefurl=http://www.ssvisuals.com/productpages/hphysicians/hs37leeuwen.html&usg=__wF8kLTCRnNnX3- (Leeuwenhoek)

Figura 1.9 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/4/49/Plagiomnium_affine_laminazellen.jpeg/240px- (Elodea en círculo)

Figura 1.10 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com/_vwpOdFPkZ6o/S8CaPPn6AsI/AAAAAAAAAF4/jvDtGAPjYJc/s1600/4%C2%BA%2BC%C3%A9lulas%2Bmucosa%2Bbucal.jpg&imgrefurl (células epiteliales)

Figura 1.11 Adaptada <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://biologia.laguia2000.com/wp-content/uploads/2010/07/AMEBA1-300x256.jpg&imgrefurl=http://biologia.laguia2000.com/biologia/las-> (Ameba)

Figura 1.12 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.biografiasyvidas.com/biografia/s/fotos/schwann.jpg&imgrefurl=http://www.biografiasyvidas.com/biografia/s/schwann.htm&usg=__KWI7HG6t7g5_xMup- (Theodor Schwann)
<http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.merke.ch/biografien/images/schleiden.jpg&imgrefurl=http://www.merke.ch/biografien/biologen/schleiden.php&usg> (Matthias Schleiden) http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.cvm.ncsu.edu/ccmtr/images/rudolf_virchow.jpg&imgrefurl=http://www.cvm.ncsu.edu/ccmtr/onemedicine.htm&usg (Rudolf Virchow)

Figura 1.15 <http://www.esi2.us.es/IMM2/dibujos/CM-200-1.jpg>

Figura 1.16 <http://campus.usal.es/~sme/img/microscopio2.jpg> (MEB)

Figura 1.20 <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://static.icarito.cl/200912/612739.jpg&imgrefurl=http://www.icarito.cl/herramientas/despliegue/laminas/2009/12/376-612739-3-estructura-de-la-celula-procariota-y-eucariota-> (comparación de célula procariota y eucariota animal)

Figura 1.22 <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.educa.madrid.org/web/cc.nsdelasabiduria.madrid/Ejercicios/2b/Biologia/Microbiologia/morfologia/gram-negativa.gif&imgrefurl> (pared celular de eubacterias)

Figura 1.25 http://aulavirtual.usal.es/aulavirtual/demos/microbiologia/unidades/document/uni_02/57/figs/fig0418c.jpg (endosporas)

Figura 1.26 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://2.bp.blogspot.com/_LtZgCBBZ82M/Si4ZPFLZpII/AAAAAAAAAFc/e7fBCBS2oYg/s320/20070417klpcnavid_48.les.SCO.jpg&imgrefurl (arqueobacteria)

Figura 1.27 <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.viajaryvisitar.com/wp-content/uploads/2008/03/kayaks2.jpg&imgrefurl=http://www.viajaryvisitar.com/viajes-turismo/destinos-viajes-vacaciones/viajes-turismo-antartida/&usg> (Antártida)

Figura 1.29 <http://www.elmundoforestal.com/terminologia/bacterias%20nitrofijadoras.jpg> (nódulos en leguminosa)

<http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.yalosabes.net/images/bacteria.jpg&imgrefurl=http://www.dowfi.com/foro/cultura-general/48118-microbios-bacterias-germenes-y-virus.html&usg> (bacterias Rhizobium)

Figura 1.30 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2d/Lynn_Margulis_SINC.jpg/300px-Lynn_Margulis_SINC.jpg&imgrefurl (Lynn Margulis)

Figura 1.35 [http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://3.bp.blogspot.com/_me39fA-f7ZBY/S3RjoCLE-yI/AAAAAAAAARU/Pj8my2DUmeM/s400/celula%2Bfungica.jpg&imgrefurl=http://b-log-ia20.blogspot.com/2010/02/tipos-celulares-\(célula fungal\)](http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://3.bp.blogspot.com/_me39fA-f7ZBY/S3RjoCLE-yI/AAAAAAAAARU/Pj8my2DUmeM/s400/celula%2Bfungica.jpg&imgrefurl=http://b-log-ia20.blogspot.com/2010/02/tipos-celulares-(célula fungal))

UNIDAD 2

Límites celulares

Figura 2.1 tomada de Lodish, Harvey y cols., Biología celular y molecular.

Figuras 2.3, 2.4, 2.8, 2.12, 2.14, 2.15 y 2.18 tomadas de Mader, Sylvia S. Biology.

Figuras 2.16, 2.17, 2.19 tomadas de Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. Biología.

Figura 2.20 tomada de Sánchez González, D.J. y Trejo Bahena N. I. Biología celular y molecular.

figura 2.21 tomada de Miller, K. R. y J.S. Levine. Biología.

figura 2.22 tomada de Biggs, Alton y cols. Biología.

figura 2.23 tomada de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones.

Figura 2.24 y 2.26 tomadas de Curtis, H. *et al.*, Invitación a la Biología, 6ª edición. Buenos Aires: Médica Panamericana, 2006.

Figuras tomadas de internet

Figura 2.2 <http://uctv.tv/images//programs/7181.jpg> (Singer)
http://1.bp.blogspot.com/_vwpOdFPkZ6o/TFIsGKC0I1I/AAAAAAAAANA/Spqwtags-Yy0/s1600/4%C2%BA+Garth+Nicolson.jpg (Nicholson)

Figura 2.5 http://www.floresdelsureste.org/biologia/apuntes/images/stories/la_celula/clip_image261.jpg (movimientos de lípidos en membrana celular)

Figura 2.6 http://tomas.valdes.eresmas.net/figuras/Col_con_fosfolip.jpg

Figura 2.7 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://recurso.latercera.cl/showjpg/0,,1_267432322_165,00.jpg&imgrefurl (coagulación sanguínea)
<http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://masalladelaultimafrontera.files.wordpress.com/2008/10/celula-madre1.jpg&imgrefurl> (leucocito desplazándose)

Figura 2.9 <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.bioapuntes.cl/apuntes/difusion-simple.jpg&imgrefurl> (difusión simple a través de la bicapa lipídica)

Figura 2.10 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com/_rxWZvUR-J0zA/TAFdQicraNI/AAAAAAAAAA0/NmxZVr6wXRc/s1600/osmosis.gif&imgrefurl (osmosis)

Figura 2.11 <http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=https://www.msu.edu/~kommkris/osmosis2.gif&imgrefurl=https://www.msu.edu/~kommkris/webquest-index.html&usg> (glóbulos rojos en diferentes concentraciones)

Figura 2.13 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://1.bp.blogspot.com/_eYkxM9i-0quo/SQUCSILrTil/AAAAAAAAAAU/EWr_wQ2nL9s/s400/memtrans4.gif&imgrefurl (difusión simple a través de canales)

Figura 2.25 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/9/94/Pared_celular.png/250px-Pared_celular.png

Figura 2.27 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000024/images/biomoleculas/nacetil.gif&imgrefurl=http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000024/lecciones/cap01/01_01_05.htm&usg (quitina)

Figura 2.28 http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.scielo.cl/fbpe/img/rci/v21n2/dio2.jpg&imgrefurl=http://www.scielo.cl/scielo.php%3Fscript%3Dsci_arttext%26pid%3DS0716- (pared celular fúngica)

UNIDAD 3

Soporte, locomoción, almacenamiento y reciclado celular

Figuras 3.3, 3.7, 3.10, 3.12, 3.13, 3.14 y 3.19 tomadas de Mader, Sylvia S. Biology.

Figuras 3.6, 3.9 Y 3.15 tomadas de Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. Biología.

Figuras 3.11 y 3.16 tomadas de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones.

Figuras tomadas de internet

Figura 3.1 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.kalipedia.com/kalipediamedia/cienciasnaturales/media/200704/17/delavida/20070417klpcnavid_23.Ees.SCO.png&imgrefurl (citoplasma)

Figura 3.2 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://4.bp.blogspot.com/_EdiSPJX1jg8/SqqxwXNqBcl/AAAAAAAAB9c/7lnKjqkyqTs/s400/Citoesqueleto.jpg&imgrefurl (citoesqueleto)

Figura 3.4 <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.blogodisea.com/wp-content/uploads/2010/02/ameba-imagen.jpg&imgrefurl> (pseudópodos de ameba)
http://www.google.com/imgres?imgurl=http://i167.photobucket.com/albums/u129/axiertxo/album2/macrofago_traga_bacteria_azul.jpg&imgrefurl=http://sobrelinks.blogspot.com/&usg (pseudópodos de leucocito)

Figura 3.5 <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://img.youtube.com/vi/P4l8a-D4xw/0.jpg&imgrefurl> (ciclosis)

Figura 3.8 <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://c.photoshelter.com/img-get/I0000CHO0bt.Ltsg/s&imgrefurl=http://www.photoshelter.com/image/I0000CHO0bt.Ltsg&usg> (MEB Didinium)
<http://www.google.com/imgres?imgurl=http://c.photoshelter.com/img-get/I0000ZcYKxbxEiQE/s&imgrefurl=http://www.photoshelter.com/image/I0000ZcYKxbxEiQE&usg> (MEB Trichonympha)

Figura 3.17 http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.animalpicturesarchive.com/animal/a7/Paramecium_caudatum_3-Protozoan-Ciliate-by_Ralf_Schmo

- de.jpg&imgrefurl=http://www.animalpicturesarchive.com/animal/ViewImg.cgi%3Fimg%3Da7/Paramecium_caudatum_3-Protozoan-Ciliate- (vacuolas contráctiles)
- Figura 3.18* http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.iprase.tn.it/natura/Atlante/CELLULA/IMM_CELL/10_cell_1.jpg&imgrefurl=http://cienciasabprikrd0.blogspot.com/2007/05/cta.html&usg (lisosoma)
- Figura 3.20* http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.maestrosinfronteras.com.ar/reproduccion_humana_clip_image011.jpg&imgrefurl (fecundación)
- http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.avizora.com/atajo/secciones/images/0019_espermatozoide_01.jpg&imgrefurl (espermatozoide)
- Figura 3.21* <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.invesmed.com/wp-content/uploads/2007/09/apoptosismacrophage.jpg&imgrefurl=http://www.invesmed.com/cancer/proteina-inhibidora-de-la-apoptosis/&usg> (apoptosis)
- Figura 3.22* <http://www.google.com/imgres?imgurl=http://www.clubmadres.com/wp-content/uploads/2009/05/feto-mano.gif&imgrefurl=http://www.clubmadres.com/general/semana-10-pasa-de-embrion-a-> (desarrollo embrionario- mano)

UNIDAD 4

Síntesis celular

- Figura 4.1* tomada de Alberts, Bruce y cols., Introducción a la Biología celular.
- Figura 4.4* tomada de Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. Biología.
- Figuras 4.5, 4.17 y 4.18* tomadas de Mader, Sylvia S. Biology.
- Figuras 4.2, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 y 4.13* tomadas de Miller, K. y Levine S. Biología.
- Figura 4.12* tomada de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones.
- Figuras 4.14 y 4.15* adaptadas de Miller, K. R. y J. S. Levine. Biología.

Figuras tomadas de internet

- Figura 4.3* <http://cnho.files.wordpress.com/2010/02/4-sintesis-proteinas-simplificado1.jpg> (resumen de síntesis proteica)
- Figura 4.16* http://contenidos.educarex.es/cnice/biosfera/profesor/galeria_imagenes/images/sintesis%20de%20proteinas%20con%20letras%20copiar.jpg

UNIDAD 5

Captura y transformación de energía

- Figura 5.1* tomada de Alberts, Bruce y cols., Introducción a la Biología celular.
- Figuras 5.2, 5.16 y 5.21* tomadas de Mader, Sylvia S. Biology.
- Figuras 5.5, 5.6, 5.12 y 5.13* tomadas de Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. Biología.

Figura 5.19 adaptado de Mader, Sylvia S. Biology y Lodish, Harvey y cols., Biología celular y molecular.

Figuras 5.7, 5.9, 5.10, 5.11, 5.14, 5.15, 5.22, 5.24, el kimchi de la *figura 5.26*, *5.29* y *5.30* tomadas de Miller K. R. y J. S. Levine. Biología.

Figuras 5.4, 5.31 y 5.32 tomadas de Campbell, M. Biología, conceptos y relaciones.

Figuras tomadas de internet

Figura 5.3 <http://www.hiperbotanica.net/image7-9/pimiento3.jpg> (cromoplastos)
http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/2bch/B3_METABOLISMO/t32_FOTOSINTESIS/diapositivas/18_Diapositiva.JPG (amiloplasto)

Figura 5.8 <http://www.soledadfelloza.com/bitacora/imagenes/otono.jpgra> (otoño)

Figura 5.17 <http://www.e-landscaping-ideas.com/spanish/images/Joshua%20Tree.jpg> (planta desértica = yuca)
<http://www.fondosypantallas.com/wp-content/uploads/2009/02/ph-117721.jpg> (coníferas)

Figura 5.18 (*adaptado*) <http://ies.rayuela.mostoles.educa.madrid.org/deptos/dbiogeo/recursos/Apuntes/ApuntesBioBach2/imagenes/organulos/me-mitocondria2.png> (conjunto de mitocondrias)

Figura 5.20 <http://dietas.tv/wp-content/uploads/2010/03/Mujer-comiendo-sano2.jpg> (mujer comiendo)

Figura 5.23 http://4.bp.blogspot.com/_62h_3ElfVDU/SzwmCIF_EBI/AAAAAAAAFAU/EXGUxddJfjc/s400/1.jpg (queso y vino)
http://3.bp.blogspot.com/_j5C2fSq3KFQ/R2v0tmLH5TI/AAAAAAAAAEgo/PdIjSQOep98/s200/tepache.jpg (tepache)
<http://pastorcarlosperrone.files.wordpress.com/2010/05/pan-de-manzana3.jpg> (pan)

Figura 5.25 http://estaticos02.cache.el-mundo.net/elmundosalud/imagenes/2007/10/17/1192617493_extras_portada_0.jpg (dolores causados por ácido láctico)

Figura 5.26 http://2.bp.blogspot.com/_5EGB8BUZlvk/TTS7CotxAEI/AAAAAAAAAB7w/dNBBFV6k40c/s1600/yogurt.jpg (yogur)
http://4.bp.blogspot.com/_uTeaS-kOKOM/SSLrtDMnmMI/AAAAAAAAAyY/xq5Im0pTWTg/s400/P1010833.JPG (col agria)
http://www.hotpaella.com/images/products/OL011_1_lg.jpg (pepinillo)

Figura 5.27 <http://xamplified.com/wp-content/uploads/2009/04/image002.jpg> (Krebs)

Figura 5.28 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/it/thumb/e/e0/Acido_citrico_struttura.svg/600px-Acido_citrico_struttura.svg.png (ácido cítrico)

UNIDAD 6

Control de funciones celulares y reproducción

Figuras 6.1, 6.2, 6.4, 6.7, 6.9, 6.12, 6.13, 6.15, 6.16, 6.19, 6.21, 6.22, 6.23, 6.26, 6.29, 6.30, 6.31, 6.32, 6.33, 6.34, 6.35, 6.36 y 6.37 tomadas de Mader, Sylvia S. *Biology*.
Figuras 6.8, 6.14, 6.17, 6.18, 6.20 y 6.24 tomadas de Solomon, E., Berg, L. y Martin, D. *Biología*.
Figura 6.25 y 6.28 tomada de Miller K. R. y J. S. Levine. *Biología*.
Figura 6.27 tomada de Chandar, N. y S. Viselli. *Biología molecular y celular*.
Figura 6.30 tomada de internet y Mader, Sylvia S. *Biology*.

Figuras tomadas de internet

Figura 6.3 <http://www.inea.uva.es/servicios/histologia/images/Imagenes2001/Imagenes%202001/010TN.Celula%20epidermis%20cebolla.1000x.jpg> (núcleo con nucléolos)
Figura 6.5 <http://colombiamedica.univalle.edu.co/Vol39No2Supl2/htmlv39n2s2/v39n-2s2a5f1.jpg> (cariograma humano)
Figura 6.6 http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/43/Walter_sutton.jpg (Walter Sutton)
<http://www.historiadelamedicina.org/imagenes/boveri.jpg> (Theodor Boveri)
Figura 6.8 <http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/biomol/imagenes/nucleico/chromat.jpg> (micrografía electrónica de nucleosomas)
Figura 6.10 http://4.bp.blogspot.com/_eLrllmIVNgE/TNA_wuHX6dI/AAAAAAAAAF0/nioCAo3T914/s1600/cromosomas.jpg (ADN de los 46 cromosomas del humano)
Figura 6.11 <http://www.esacademic.com/pictures/eswiki/77/Musculo esqueletico voluntario.jpg> (células musculares esqueléticas)
<http://articulos.sld.cu/hematologia/files/2009/12/globulos1.jpg> (glóbulos rojos)
Figura 6.31 <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/27/PLoS Biol 3.5.Fig7C chromosomes Alu Fish.jpg/1000px-PLoS Biol 3.5.Fig7C chromosomes Alu Fish.jpg> (cariotipo humano con tinción-bandas)

BIOLOGIA CELULAR,

de Amada Aleyda Angulo Rodríguez, Alma Rebeca Galindo Uriarte,
Roberto C. Avendaño Palazuelos y Carolina Pérez Angulo.
Se terminó de imprimir en el mes de diciembre del 2011,
en los talleres de SERVICIOS EDITORIALES ONCE RÍOS,
Río Usumacinta # 821, Industrial Bravo,
Culiacán, Sin.

Tiraje: 3,000 ejemplares.



Universidad Autónoma de Sinaloa
Dirección General de Escuelas Preparatorias

dgep.uasnet.mx