

Biología

2 bachillerato

**Avance
de edición**

Mariano García Gregorio

Josep Furió Egea

M^a Ángeles García Papi

 **ECIR**
EDITORIAL

Biología

2 bachillerato

©ES PROPIEDAD

Mariano García Gregorio

Josep Furió Egea

M^a Ángeles García Papí

Editorial ECIR, S.A.

Fotografía: Archivo ECIR / Istockphoto / Fotolia / Age Fotostock.

Diseño de interior: Diseño gráfico ECIR

Edición: Editorial ECIR

Impresión: Industrias gráficas Ecir (IGE)

Ilustraciones: Diseño gráfico ECIR / Alfandech.

Diseño e ilustración cubierta: Valverde e Iborra / Diseño gráfico ECIR



Villa de Madrid, 60 - 46988 - P. I. Fuente del Jarro - PATERNA (Valencia)
Tels: 96 132 36 25 - 96 132 36 55 - Móvil: 677 431 115 - Fax: 96 132 36 05
E-mail: ecir@ecir.com - <http://www.ecir.com>

A las alumnas y los alumnos:

Los estudiantes de 2º de Bachillerato que cursáis la asignatura de Biología os planteáis el futuro con objetivos diferentes: algunos continuaréis vuestros estudios en alguna carrera relacionada con las Ciencias de la Vida. Para otros, éste será el último curso en que tendréis un contacto académico con esta materia. Finalmente, algunos os integraréis próximamente en la vida laboral. Es muy probable, además, que todos o casi todos realicéis las pruebas de acceso a la Universidad u otras pruebas selectivas.

El libro que tenéis en vuestras manos ha sido planificado y realizado como un instrumento de trabajo eficaz y seguro que os ayudará a llevar vuestros objetivos a buen fin.

El libro consta de 4 bloques de contenidos desglosados en 19 temas con una selección rigurosa y actualizada de contenidos. Acompañando a este texto encontraréis:

- **Actividades de lápiz y papel**, que os plantearán problemas interesantes, basados en la materia objeto de estudio, que deberéis trabajar individualmente o en grupo, según el criterio de vuestros profesores.

Al final de cada tema hay tres secciones:

- **Resumen** gráfico y textual de los contenidos del tema.
- **Actividades** de autoevaluación con tres niveles de dificultad: elemental , media y avanzada .
- **Documentos de ampliación**, que tratan sobre las relaciones Ciencia-Técnica-Sociedad y también sobre cuestiones científicas menos conocidas y relacionadas con el tema.

El libro del alumno viene acompañado de un **Cuaderno de Investigaciones y Técnicas**, que comprende dos tipos de actividades:

1. Técnicas: actividades prácticas en las que se plantea el objetivo, el material y los métodos para realizarlas y que tienen como finalidad familiarizarnos con el manejo de los instrumentos y las técnicas de laboratorio, la recogida y clasificación de datos experimentales y la elaboración de informes.

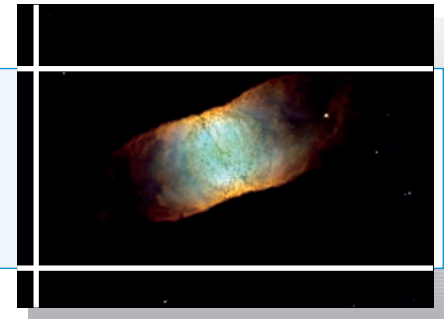
2. Investigaciones: plantea la búsqueda experimental de la solución a un problema cuyo diseño y realización –excepción hecha de algunas sugerencias– se os ofrecen enteramente a vosotros.

Hechas las aclaraciones, concluimos esta presentación con la confianza de que este libro sea para vosotros un buen compañero y una ayuda eficaz y atractiva en esta etapa de vuestra formación científica y humana.

I. LAS MOLÉCULAS DE LA VIDA

1 BIOELEMENTOS Y BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS

- Los elementos de la vida
- Las biomoléculas
- El agua
- Las sales minerales



2 LOS GLÚCIDOS

- Concepto de glúcido y clasificación
- Monosacáridos
- Disacáridos
- Oligosacáridos
- Polisacáridos

3 LOS LÍPIDOS

- Los lípidos: propiedades generales
- Ácidos grasos
- Triacilglicéridos
- Ceras
- Lípidos de membrana
- Lípidos sin ácidos grasos



4 LAS PROTEÍNAS

- Los aminoácidos
- La carga eléctrica de los aminoácidos
- Aminoácidos proteicos y aminoácidos no proteicos
- Los péptidos
- Las proteínas: concepto y estructura
- Proteínas conjugadas o heteroproteínas
- Clasificación de las proteínas
- Propiedades de interés de las proteínas

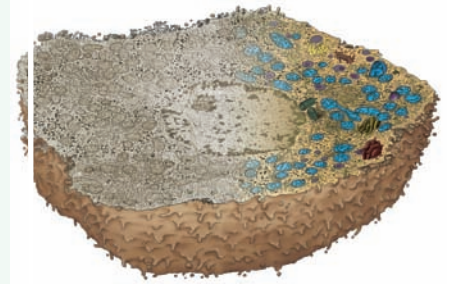
5 NUCLEÓTIDOS Y ÁCIDOS NUCLEICOS

- Nucleósidos y nucleótidos
- Nucleótidos de interés biológico
- Coenzimas derivados de nucleótidos
- Polinucleótidos. Ácidos nucleicos
- Funciones de los ácidos nucleicos
- Estructura del RNA
- Estructura del DNA
- Variaciones de la estructura del DNA
- La cromatina

II. ESTRUCTURA Y FUNCIÓN CELULAR

6 INTRODUCCIÓN A LA CÉLULA

- Teoría celular: Introducción histórica
- Métodos de estudio morfológicos de la célula
- Estudio bioquímico de la célula
- Tipos de organización celular
- Introducción al estudio de la célula eucariótica
- El paso de las células procarióticas a las eucarióticas
- Diferencias entre células procarióticas y eucarióticas



7 LA ENVOLTURA CELULAR

- La membrana plasmática
- Especializaciones de la membrana plasmática:
- Uniones intercelulares
- Transporte de pequeñas moléculas a través de la membrana
- Transporte de macromoléculas y partículas
- Glicocáliz o cubierta celular
- Pared celular

8 CITOSOL Y CITOESQUELETO

- Citosol
- Citoesqueleto
- Filamentos de actina
- Filamentos intermedios
- Microtúbulos
- Cilios y flagelos
- Centrosoma: centro organizador de microtúbulos



9 RIBOSOMAS Y SISTEMAS DE ENDOMEMBRANAS

- Ribosomas
- Retículo endoplasmático
- Complejo de Golgi
- Lisosomas
- Vacuolas
- Peroxisomas

10 ORGÁNULOS ENERGÉTICOS

- Mitocondrias
- Cloroplastos
- Autonomía de mitocondrias y cloroplastos

11 NÚCLEO, MITOSIS Y MEIOSIS

- El núcleo
- La cromatina y los cromosomas
- El ciclo celular
- La mitosis
- Citocinesis
- La meiosis
- Los ciclos vitales

III. METABOLISMO Y AUTOPERPETUACIÓN

12 INTRODUCCIÓN AL METABOLISMO. ATP Y ENZIMAS

- Concepto de metabolismo
- Características de las reacciones metabólicas
- Organismos autótrofos y heterótrofos
- Las enzimas
- El adenosín trifosfato o ATP
- Coenzimas de oxidación-reducción
- Vitaminas

13 RESPIRACIÓN Y FOTOSÍNTESIS

- Respiración aerobia
- Catabolismo de glúcidos
- Catabolismo de lípidos
- Catabolismo de proteínas
- Catabolismo anaeróbico
- Anabolismo
- Fotosíntesis
- Fase luminica de la fotosíntesis. Fotofosforilación
- Fase oscura. El ciclo de Calvin
- Quimiosíntesis

14 LAS LEYES DE LA HERENCIA

- Conceptos básicos de herencia biológica
- Las leyes de Mendel
- Ejemplos de la herencia mendeliana
- Ligamiento y recombinación cromosómicos
- Herencia y sexo
- Herencia ligada al sexo
- Carácteres influidos por el sexo

15 LOS GENES Y SU FUNCIÓN

- La replicación semiconservativa del DNA
- El mecanismo de la replicación
- La expresión del mensaje genético
- El mecanismo de la transcripción
- El mecanismo de la traducción
- Regulación de la expresión del mensaje genético
- Los genes y los caracteres del organismo

16 MUTACIONES Y MANIPULACIONES GENÉTICAS

- Concepto de mutación
- Mutaciones cariotípicas
- Mutaciones cromosómicas
- El mecanismo de la transcripción
- Frecuencia de las mutaciones naturales
- Algunos fenómenos naturales resultado de las mutaciones
- Las mutaciones y la evolución de los seres vivos
- Mutaciones experimentales
- Los DNA recombinantes y la ingeniería genética
- Manipulaciones genéticas en eucariotas

17 BIOLOGÍA DE LOS MICROORGANISMOS

- Los microorganismos y la microbiología
- Los virus
- Las bacterias
- La reproducción y la recombinación genética en las bacterias
- Otros microorganismos procarióticos

18 MICROBIOLOGÍA APLICADA

- Modos de vida de los microorganismos
- Microorganismos autótrofos y biosfera
- Los microorganismos del suelo
- Los microorganismos patógenos
- Los microorganismos y los alimentos
- Otras aplicaciones industriales de los microorganismos


19 EL SISTEMA INMUNITARIO

- Concepto de inmunidad. Las defensas del organismo
- Defensas innatas externas: barreras físicas y químicas
- Defensas innatas internas: respuesta inflamatoria
- Células y órganos del sistema inmunitario
- Inmunidad adquirida o específica: la respuesta inmunitaria
- El reconocimiento del antígeno por los linfocitos B y T
- Desarrollo de los linfocitos: selección clonal
- Dos respuestas inmunitarias: humoral y celular
- Inmunidad natural frente a la infección
- Inmunidad inducida artificialmente
- Alergia y anafilaxia
- Autoinmunidad
- Inmunodeficiencia

1

BIOELEMENTOS Y BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS





La materia viva está formada por elementos químicos que se encuentran también en nuestro planeta y en otros astros, si bien en proporciones diferentes. La investigación astrofísica nos ha permitido conocer los procesos que han generado los diferentes elementos químicos: El hidrógeno, el más abundante del universo, se originó en el Big Bang. Más tarde, formadas las estrellas, otros elementos se fueron fabricando en ellas. Las estrellas masivas pueden sintetizar mediante el proceso de fusión nuclear, elementos como oxígeno, carbono, nitrógeno y otros más pesados. Cuando se obtiene el hierro como producto de fusión la estrella sufre una explosión cataclísmica -supernova- y lanza al espacio interestelar gran parte de su materia. Las altas energías producidas en la explosión llevan a la síntesis de nuevos elementos.

La enorme nebulosa que originó nuestro Sistema Solar, además de una masa mucho mayor de hidrógeno y elementos ligeros, contenía una cantidad significativa de elementos más pesados, presumiblemente procedentes de la explosión de supernovas anteriores. Desde sus orígenes, la vida en nuestro planeta utilizó algunos de esos elementos para construir sus estructuras y para poder funcionar. Por ser parte integrante de la materia viva se conocen con el nombre de **bioelementos**. Sus combinaciones moleculares se denominan **biomoléculas**.

- 1** Los elementos de la vida
- 2** Las biomoléculas
- 3** El agua
- 4** Las sales minerales

Resumen

Actividades

Documento

Polvo de estrellas

1 LOS ELEMENTOS DE LA VIDA

Una de las características de la vida es su composición elemental. El análisis químico revela que de los 92 elementos naturales, unos 27 son esenciales para los diferentes seres vivos si bien sólo 16 son comunes a todos ellos.

Se denominan **elementos biogénicos** o **bioelementos** a aquellos elementos químicos que forman parte de los seres vivos.

En la figura 1.1 se representa el porcentaje en masa de los elementos más abundantes en los seres vivos, en la corteza terrestre y en el planeta globalmente. Al comparar las tres gráficas podemos llegar a algunas conclusiones:

Aunque todos los elementos que constituyen los seres vivos se encuentran en el planeta Tierra, la proporción que mantienen en ellos es muy diferente de la del núcleo e incluso de la de la corteza, en cuyo límite superior se desarrolla la vida. Ello se debe a que los seres vivos son entes selectivos que han utilizado aquellos elementos más idóneos para sus estructuras y funciones, no los más abundantes.

La abundancia no es sinónimo de disponibilidad. El Al es un elemento muy abundante en la corteza terrestre pero difícil de obtener en forma soluble, como lo habrían podido utilizar los seres vivos. Es lógico pensar que la vida además de necesitar elementos idóneos tuvo que tenerlos disponibles. Algunos de los elementos más abundantes de la vida (C, H, O, N) se obtienen fácilmente en las

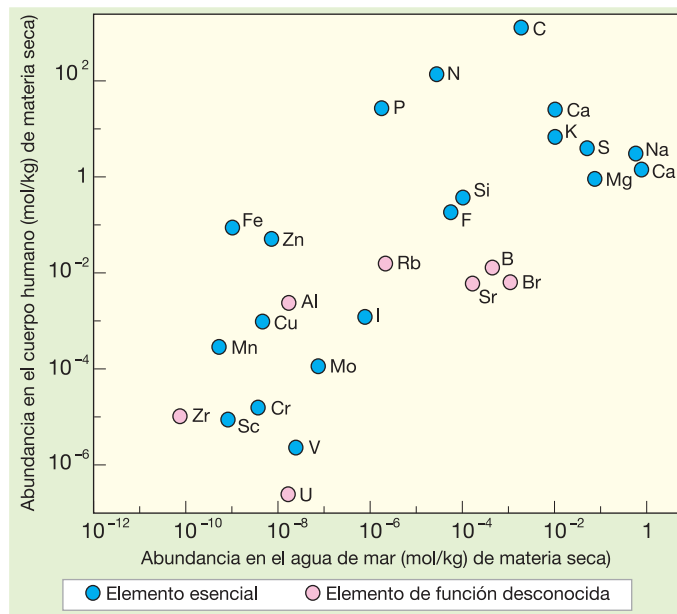


Fig. 1.2. Correlación entre la abundancia de bioelementos en el mar y en el ser humano (J. Peretó).

envueltas fluidas de la Tierra: la atmósfera y la hidrosfera. La figura 1.2 nos muestra que hay buena correlación entre la abundancia de elementos en el mar y en el ser humano.

Atendiendo a su abundancia en la materia viva y al papel que desempeñan en ella, podemos clasificar los bioelementos en tres categorías (fig 1.3):

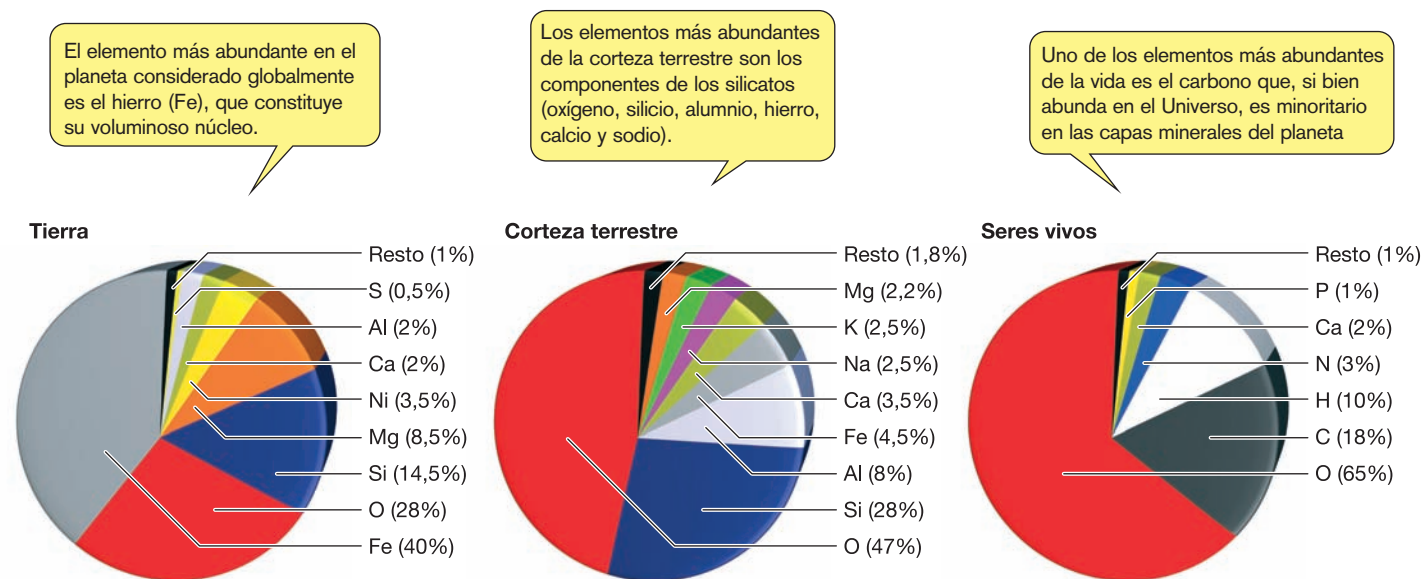


Fig. 1.1. Diagramas de la composición química (%) de la Tierra en su conjunto, de la corteza terrestre y de los seres vivos.

Los elementos marcados en color rojo (bioelementos principales) constituyen algo más del 97% de la materia viva.

Los elementos marcados en color naranja (bioelementos secundarios) forman alrededor del 2,5% de la materia viva.

Los elementos marcados en color verde, llamados oligoelementos, representan algo menos del 0,5% de la materia prima.

1 H Hidrógeno																	2 He Helio								
3 Li Litio	4 Be Berilio																	10 Ne Neón							
11 Na Sodio	12 Mg Magnesio	13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón	19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Cinc	31 Ga Galio	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Kriptón
37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Ytrio	40 Zr Circonio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Telurio	53 I Yodo	54 Xe Xenón								
55 Cs Cesio	56 Ba Bario	Lantánidos		72 Hf Hafnio	73 Ta Tántalo	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Plomo	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatina	86 Rn Radón							
87 Fr Francio	88 Ra Radio	Actínidos																							

Fig. 1.3. Localización de los bioelementos en la tabla periódica.

■ Bioelementos principales: C, H, O, N, P y S

Los elementos **carbono, hidrógeno y oxígeno** forman parte de todas las biomoléculas orgánicas.

El **nitrógeno** es un componente fundamental de las proteínas, ácidos nucleicos, nucleótidos, clorofila, hemoglobina y numerosos glúcidos y lípidos. Estos cuatro elementos forman el 95 % de la materia viva.

El **azufre** se halla en dos aminoácidos (cisteína y metionina) presentes en casi todas las proteínas. También está en otras sustancias de interés biológico, como vitaminas del complejo B y en la Coenzima A.

El **fósforo** es parte integrante de los nucleótidos, compuestos que forman parte de los ácidos nucleicos y de sustancias de gran interés biológico, como muchas coenzimas (NAD⁺, NADP⁺, etc.). También forma parte de los fosfolípidos, sustancias fundamentales en la constitución de las membranas celulares y de los fosfatos, sales minerales abundantes en los seres vivos.

Las propiedades físicoquímicas que los hacen tan adecuados para la vida son las siguientes:

1. Forman entre ellos con facilidad **enlaces covalentes**, compartiendo pares de electrones.
2. Pueden compartir más de un par de electrones, formando **enlaces dobles o triples**, lo cual les dota de una gran versatilidad para formar compuestos químicos diferentes.
3. La estabilidad de un enlace covalente es mayor cuanto menor es masa atómica de los átomos que lo forman. Los bioelementos principales son los elementos más ligeros con capacidad de formar enlaces covalentes, por lo que dichos enlaces son muy estables.
4. A causa de la configuración tetraédrica de los enlaces del carbono, los diferentes tipos de moléculas orgánicas tienen estructuras tridimensionales diferentes. Ello da lugar a la existencia de estereoisómeros que los seres vivos diferencian y seleccionan. (Fig 1.4 a).

5. Es particularmente significativa la capacidad del carbono para formar **enlaces estables carbono-carbono**, llegando a formar largas cadenas carbonadas lineales, ramificadas, anillos, etc., así como para unirse a otros elementos químicos, aumentando la posibilidad de crear nuevos grupos funcionales (aldehído, cetona, alcohol, ácido, amina, etc.) que originan compuestos orgánicos muy diversos (fig 1.4 b).

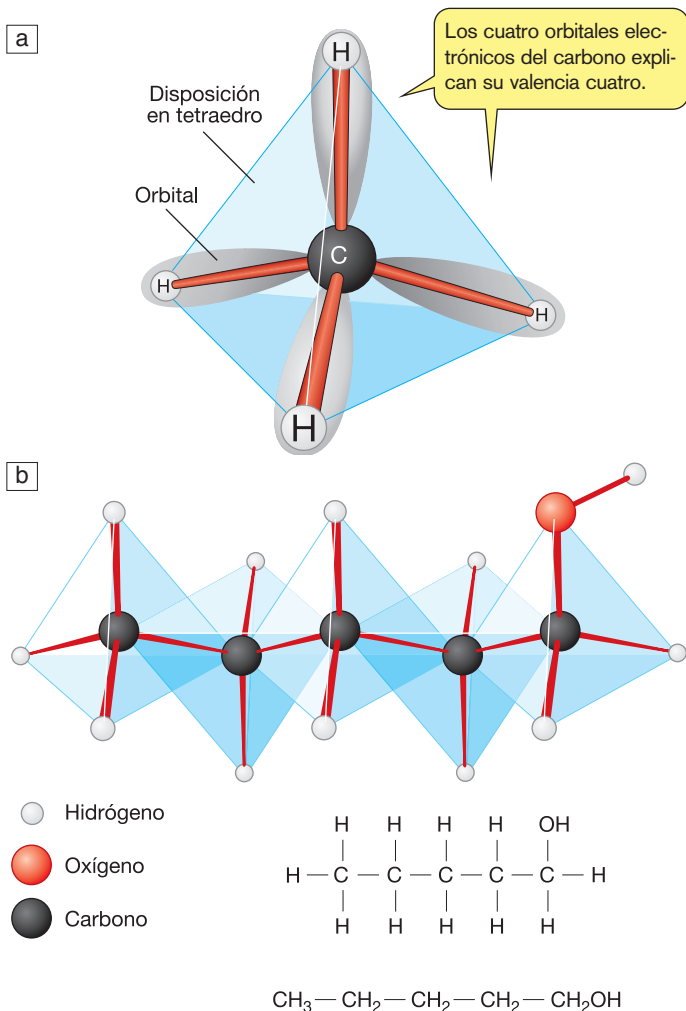


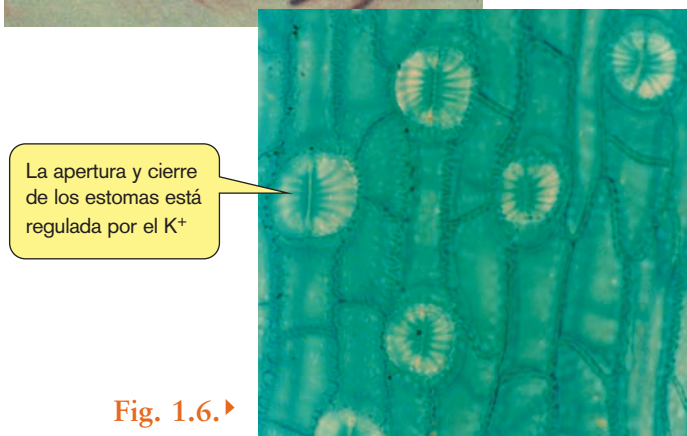
Fig. 1.4. a) Estructura tetraédrica del carbono; b) Representación de la estructura tridimensional de una cadena carbonada.

6. Los compuestos formados por C, H, O y N en los organismos vivos se hallan en estado reducido. Como el oxígeno es muy abundante en la superficie del planeta, los compuestos tienden a oxidarse para formar compuestos de baja energía, como el dióxido de carbono y el agua. La energía desprendida en esas oxidaciones es aprovechada para las funciones vitales de los organismos.

■ Bioelementos secundarios: Ca, Mg, Na, K, Cl.

Los encontramos formando parte esencial de todos los seres vivos, si bien en conjunto no superan, generalmente, el 2,5 % del peso total del organismo.

El **calcio** (aproximadamente 2% del total, más abundante que el fósforo y que el azufre) forma parte del carbonato cálcico (CaCO_3), que es el componente principal de las estructuras esqueléticas de muchos animales. En forma iónica estabiliza muchas estructuras celulares, como el huso mitótico (fig. 1.5), e interviene en muchos procesos fisiológicos, como la contracción muscular y la coagulación de la sangre.



El **magnesio** forma parte de la molécula de clorofila, y en forma iónica actúa como catalizador, junto con enzimas, en muchas reacciones químicas de los organismos. También es un estabilizador de los ribosomas, de la membrana plasmática y de los ácidos nucleicos.

Sodio, potasio y cloro forman parte, como iones, de las sales minerales disueltas en el agua de los organismos. Intervienen directamente en muchos procesos fisiológicos, como la transmisión del impulso nervioso. El potasio regula la apertura y el cierre de los estomas de las hojas (fig. 1.6).

■ Oligoelementos

La palabra deriva del griego *oligos* que significa escaso. Se denomina de esta forma al conjunto de elementos químicos que están presentes en los organismos en pequeñas proporciones (en conjunto, no representan más allá del 0,5 % del peso total del organismo). Tanto su déficit como su exceso pueden producir graves trastornos en los seres vivos.

El que un determinado elemento químico aparezca, en proporciones traza, formando parte de un ser vivo no basta para caracterizarlo como un oligoelemento: podría muy bien tratarse de una contaminación ambiental procedente del medio (agua, aire, tierra, alimentos...).

La categoría de oligoelemento se reserva para aquellos elementos que, aunque se encuentran en proporciones muy pequeñas, forman parte esencial de alguna actividad fisiológica del organismo considerado, de forma que su presencia sea necesaria para el desarrollo normal de la vida del ser vivo en cuestión.

Lo exiguo de su proporción hace que, con frecuencia, la investigación de qué elementos pertenecen o no a esta categoría sea difícil.

Se han podido aislar varias decenas de oligoelementos en los seres vivos, pero solamente 5 de ellos (Mn, Fe, Co, Cu y Zn) existen en todos los seres vivos por lo que se denominan **oligoelementos universales**. Otros oligoelementos (B, F, Si, V, Cr, Ni, Cr, As, Se, Mo, Sn, I) sólo están presentes en determinados grupos de organismos.

Entre las funciones que desempeñan algunos de estos elementos, podemos destacar las siguientes:

El **hierro** es fundamental para la síntesis de clorofila; interviene en los procesos de transporte electrónico en la respiración y la fotosíntesis y forma parte de proteínas como la hemoglobina – pigmento rojo de los hematíes – que actúa como transportador de oxígeno.

El **manganeso** es un activador de muchas enzimas; interviene en la fotólisis del agua durante el proceso de fotosíntesis en las plantas.

El **cobalto** forma parte de la vitamina B₁₂ necesaria para la síntesis de la hemoglobina. También es necesario para los microorganismos fijadores del nitrógeno y para muchos otros.

El **zinc** es un componente esencial de un centenar de enzimas diferentes, como las polimerasas del DNA y del RNA y otras que catalizan procesos de oxidación – reducción.

El **cobre** forma parte (junto con el hierro) de una enzima, la citocromooxidasa que interviene en el transporte de electrones en la respiración.

El **iodo** es necesario para la síntesis de la hormona tiroidea de los vertebrados.

El **flúor** forma parte del esmalte dentario y de los huesos.

El **silicio** proporciona resistencia al tejido conjuntivo, y forma parte del óxido de silicio que constituye el esqueleto de muchas plantas, como las gramíneas y los equisetos, y el caparazón de muchos microorganismos, como las diatomeas (fig. 1.7).

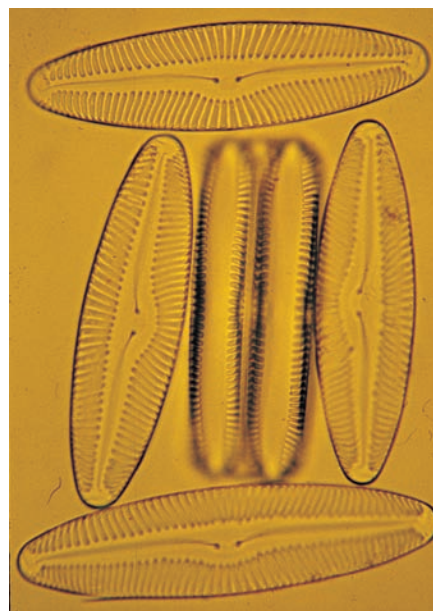


Fig. 1.7. El SiO₂ forma el caparazón de las diatomeas.

Actividades

- ¿Cuáles son los oligoelementos universales? ¿Por qué se denominan así?
- ¿Qué características comunes presentan los bioelementos primarios? ¿Y los bioelementos secundarios? ¿Y los oligoelementos?
- El As es un veneno violento para las personas. Sin embargo viene en nuestra lista de oligoelementos. ¿Cómo se puede explicar esta aparente contradicción?
- ¿Qué elemento es más importante para el mantenimiento de la vida de un mamífero, el C o el Co? ¿Por qué?
- Busca en la red la función biológica y algunos organismos en los que aparecen los siguientes oligoelementos: níquel, arsénico, cromo y vanadio.

2 LAS BIOMOLÉCULAS

Los bioelementos no están generalmente en forma libre dentro del organismo, sino que se agrupan en moléculas más o menos grandes, denominadas **biomoléculas**, que constituyen los sillares arquitectónicos básicos para la construcción de la compleja estructura de los seres vivos.

Las biomoléculas se denominan también con el nombre clásico de principios inmediatos, nombre en desuso, que hace referencia al hecho de que se trata de sustancias que pueden obtenerse en el laboratorio, a partir de los organismos, de forma inmediata cuando se aplican técnicas de análisis físico: trituración, disolución, filtración, decantación, cromatografía, electroforesis, etc. En la actualidad es más utilizado el término biomolécula.

Entre las biomoléculas hay sustancias tan distintas entre sí como el agua y el DNA, por lo que conviene construir una clasificación que facilite su estudio. La más utilizada es la siguiente:

- **Biomoléculas inorgánicas**, presentes también en la materia inerte: agua; sales minerales; gases.
- **Biomoléculas orgánicas**, exclusivas de los seres vivos: glúcidos; lípidos; proteínas; ácidos nucleicos.

La tabla I muestra la abundancia y la diversidad de biomoléculas en una célula procariótica, la bacteria *Escherichia coli*.

Tipo de molécula	% en peso	nº de moléculas diferentes
Agua	70	1
Proteínas	15	3000
DNA	1	1
RNA	6	>3000
Polisacáridos	3	5
Lípidos	2	20
Componentes de macromoléculas e intermediarios	2	500
Iones inorgánicos	1	20

Actividades

- ¿Cuál es la sustancia que mayor número de moléculas diferentes presenta en la bacteria *E. coli*? ¿Por qué?
- El CaCO_3 tiene un átomo de carbono en su molécula. ¿Es una biomolécula orgánica o inorgánica?
- ¿Por qué hay, en *E. coli*, más moléculas de RNA que proteínas?

3 EL AGUA

La vida, depende de la presencia de agua: impregna todas las partes de la célula, constituye el medio en el que se realiza el transporte de los nutrientes, las reacciones del metabolismo y la transferencia de energía química.

El agua es el componente mayoritario de los seres vivos, si bien el porcentaje de agua no es el mismo en todos ellos, ni en las diferentes partes de un mismo ser (tabla II).

Contenido hídrico en algunos seres vivos

Animales	%
Feto humano (3 meses)	94
Hombre adulto	63
Cangrejo de río	77
Caracol	80
Lombriz terrestre	88
Medusa	95
Insecto	72

Vegetales	%
Algas	98
Espárrago	93
Tabaco	93
Espinaca	93
Hongos	91
Zanahoria	87
Líquén	55

Contenido hídrico en diferentes órganos

Animales	%
Cerebro	86
Sangre	79
Músculo	75
Hígado	70
Cartílago	55
Hueso	22
Diente	10

Vegetales	%
Sandía	95
Patata	78
Plátano	76
Grano de trigo	11
Semilla de guisante	11
Semilla de garbanzo	11
Grano de arroz	10

Tabla II. Porcentaje de agua en diferentes órganos y organismos.

El contenido en agua de los seres vivos está en función de la actividad metabólica que desarrollan las células. Así, las esporas y semillas, que están en estado de vida latente contienen un 10 % de agua; el tejido nervioso, que presenta una gran actividad, tiene un 86 %.

En los seres vivos o en las partes de los mismos que contienen estructuras minerales u orgánicas densas la proporción es más pequeña: el tejido óseo contiene sólo un 22% de agua.

El porcentaje de agua varía también a lo largo de la vida de los organismos: el ser humano tiene en la infancia un 78%, y en la ancianidad un 60%.

■ Estructura de la molécula del agua

La molécula del agua está formada por dos átomos de hidrógeno unidos a un átomo de oxígeno mediante sendos enlaces covalentes. El átomo de oxígeno tiene dos pares de electrones no enlazantes que se repelen entre ellos. Es además muy electronegativo por lo que atrae hacia sí los electrones compartidos con el hidrógeno. Todo ello genera en el hidrógeno una densidad de carga positiva (δ^+) y en el oxígeno una densidad de carga negativa (δ^-). Esta estructura de cargas se denomina **dipolo permanente**. Por ello decimos que el agua es una sustancia **polar** (fig 3.1).

Así, aunque la molécula de agua es neutra (tiene el mismo número de protones y de electrones), presenta

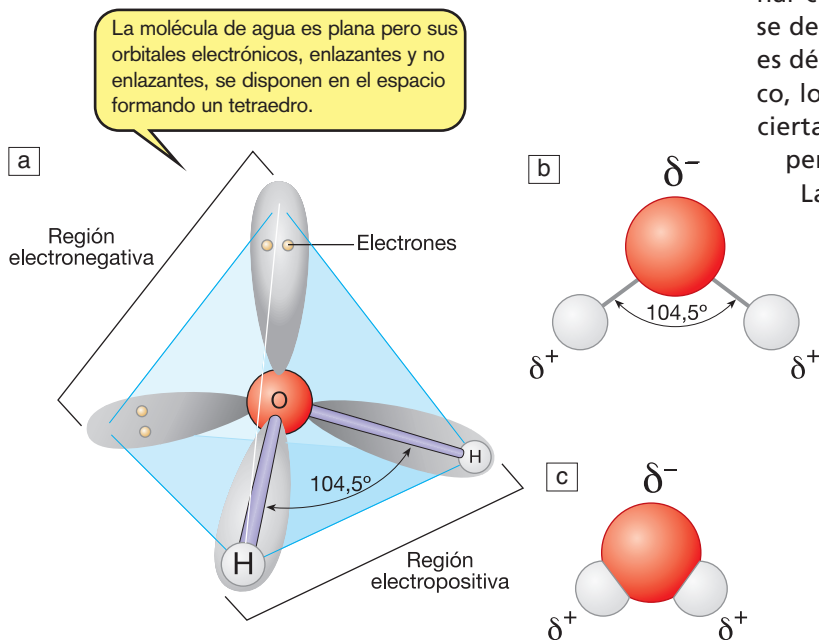


Fig. 3.1. a) Estructura de la molécula del agua; b y c) representaciones habituales de la molécula de agua.

una distribución de cargas asimétrica. Aunque la molécula de agua es plana, los pares de electrones (enlazados y no enlazados) de la molécula se disponen en el espacio formando un tetraedro.

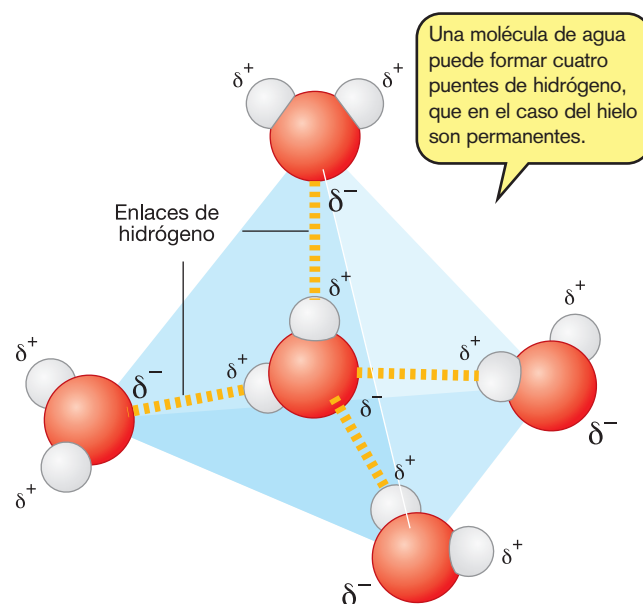


Fig. 3.2 Puentes de hidrógeno con otras moléculas de agua.

La naturaleza polar de las moléculas de agua hace que el oxígeno de una molécula (δ^-), pueda interactuar con el hidrógeno de otra (δ^+), estableciendo lo que se denomina **enlace o puente de hidrógeno**. Este enlace es débil en comparación con un enlace covalente o iónico, lo que implica que puede formarse y deshacerse con cierta facilidad (debilidad que a veces se puede compensar por la formación de gran cantidad de enlaces).

La estructura tetraédrica en la distribución electrónica hace que una molécula de agua pueda formar hasta **cuatro puentes de hidrógeno** (fig 3.2).

Actividades

- Estudia la tabla II y justifica la diferencia porcentual en las siguientes parejas: 1) Medusa – Hombre adulto; 2) Diente – Cerebro. 3) Feto humano- Hombre adulto. 4) Alga- Liquen.
- ¿Tiene sentido que los científicos espaciales investiguen la presencia de agua en otros mundos? ¿Por qué?
- ¿Cómo te explicas que siendo el agua una molécula plana, el hielo tenga estructura tetraédrica?

■ Propiedades físicoquímicas del agua: importancia para la vida

El agua es una sustancia tan próxima que es fácil pasar por alto sus extraordinarias propiedades físicoquímicas.

Densidad en estado sólido

El hielo flota sobre el agua líquida. A medida que el agua líquida se enfría, se contrae y su densidad aumenta. Al llegar a 4 °C alcanza su máxima densidad. A partir de aquí si seguimos enfriando su densidad se mantiene prácticamente constante pero cuando se llega a 0 °C y solidifica, la densidad disminuye bruscamente, "el hielo se expande": **el agua en estado sólido es menos densa que el agua líquida.**

Esta propiedad se debe (fig 3.3 a y b) a que, en estado líquido, se forman y destruyen continuamente los puentes de hidrógeno (a temperatura ambiente cada molécula forma un promedio de 3'4 puentes de hidrógeno). Estos enlaces confieren al agua una estructura de red **dinámica** empaquetada, sin posiciones fijas en las moléculas (el empaquetamiento es máximo a 4 °C). En estado sólido cada molécula de agua forma cuatro puentes de hidrógeno con otras tantas moléculas de agua, que mantienen **posiciones fijas** en una estructura cristalina tridimensional más expandida y, por lo tanto, menos densa.

La flotabilidad del hielo sobre el agua en mares, lagos y ríos, es crucial para la vida en esos medios. Si el hielo fuese más denso se hundiría y se acumularía en el fondo haciendo imposible la vida acuática.

Regulación de la temperatura

El agua presenta un **elevado calor específico**: la absorción (o el desprendimiento) de 1 cal por 1 g de agua aumenta (o disminuye) 1 °C su temperatura.

Ello se debe a que el calor que absorbe el agua se emplea para romper los puentes de hidrógeno entre las moléculas antes que para aumentar la velocidad de las mismas (a mayor temperatura, mayor velocidad de las partículas). Por lo mismo, cuando la temperatura del agua cae levemente se forman muchos enlaces de hidrógeno adicionales y se libera mucha energía en forma de calor.

Por ello, mares, ríos y lagos, almacenan mucha energía calorífica en verano (variación estacional) y durante el día (variación diurna) sin que cambie mucho su temperatura y la liberan cuando la temperatura de aire es más baja. Los organismos, compuestos en gran parte de agua, pueden resistir los cambios de la temperatura exterior sin apenas cambiar la temperatura propia.

El agua posee un **elevado calor de vaporización**. Pasar 1 g de agua de líquido a vapor requiere mucha energía, 580 calorías, puesto que para ello han de romperse todos los puentes de hidrógeno que mantienen a las moléculas en estado líquido (fig 3.3 c). Al contrario, la condensación de 1 g de vapor a líquido, devuelve 580 calorías.

La evaporación del agua de los mares y la condensación del vapor de agua contribuyen a regular el clima del planeta. También los seres vivos terrestres refrigeran su superficie mediante el mecanismo de evaporación.

Gracias a sus elevados calor específico y calor de vaporización **el agua es un regulador térmico global y para los seres vivos** individualmente considerados.

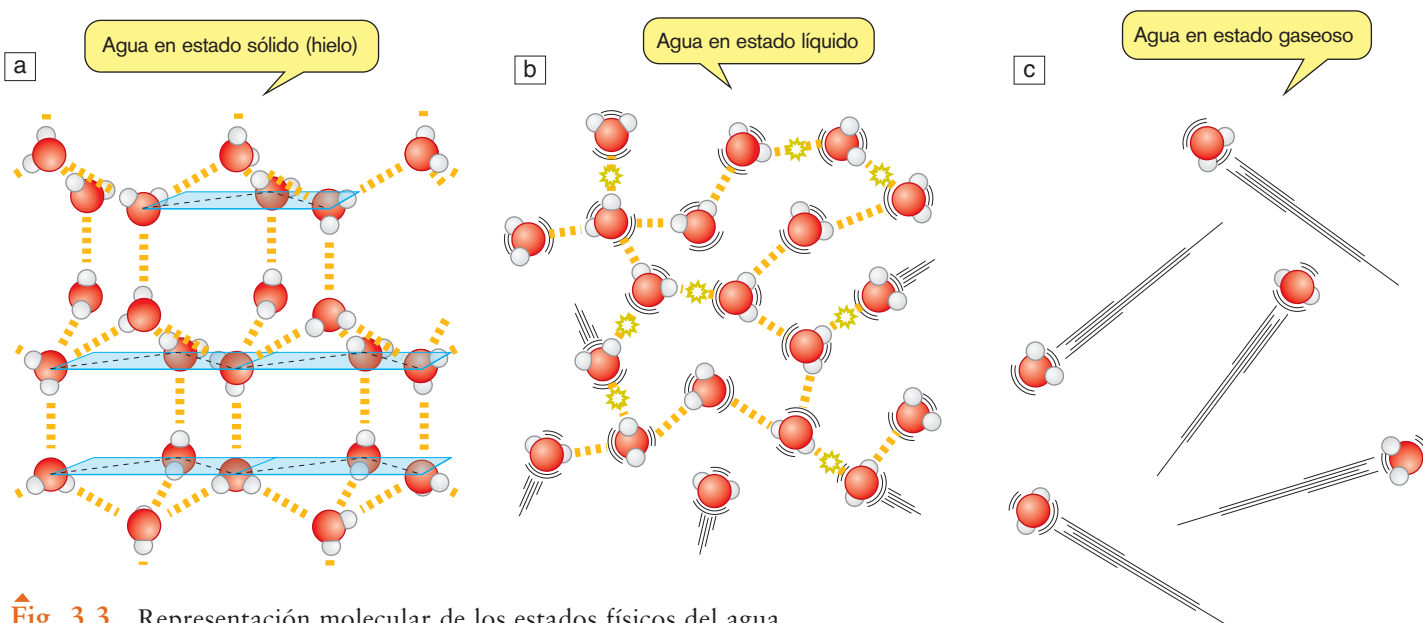
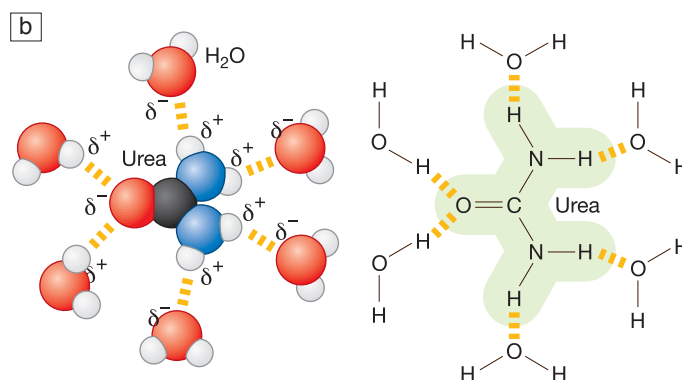
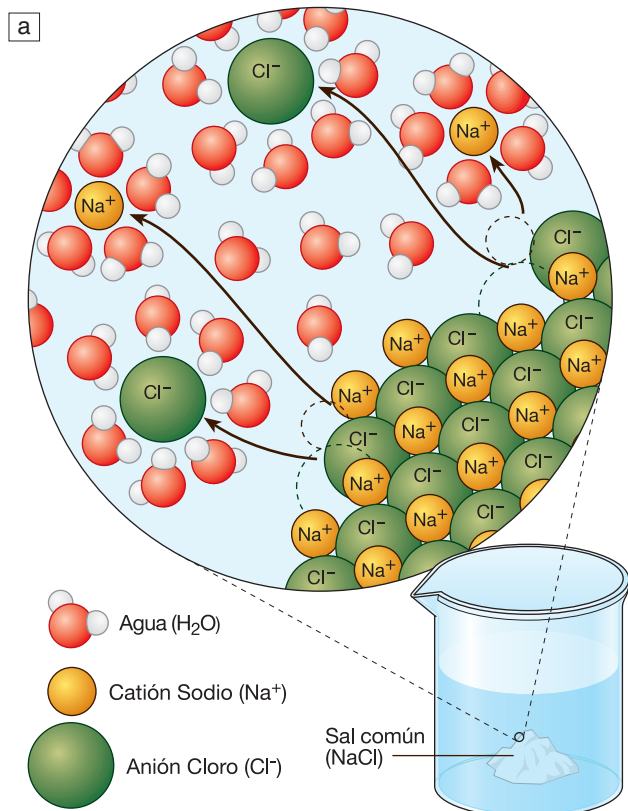


Fig. 3.3. Representación molecular de los estados físicos del agua.

Capacidad disolvente



c

Algunos grupos polares	Algunos grupos no polares
Hidroxilo: $-\text{OH}$	Radical alquílico: $-(\text{CH}_n)_2-\text{CH}_3$
Carboxilo: $-\text{COOH}$	Radical fenilo: $-\text{C}_6\text{H}_5$
Carbonilo: $>\text{C}=\text{O}$	Radical etilénico: $-\text{CH}=\text{CH}_2$

Fig. 3.4. El agua disuelve: a) compuestos iónicos y b) compuestos polares; c) algunos grupos polares y no polares de los compuestos orgánicos

El agua es un disolvente muy versátil, mejor que la mayoría de otros disolventes usuales.

Disuelve a la mayor parte de los **compuestos iónicos**, lo que se debe a su naturaleza polar. Cuando colocamos una sustancia iónica, p. e., un cristal de NaCl en agua, los iones Na^+ y Cl^- situados en la superficie del sólido son expuestos al disolvente. Las regiones de oxígeno de las moléculas de agua cargadas negativamente interactúan con los cationes Na^+ . Las regiones de hidrógeno cargadas positivamente interactúan con los aniones Cl^- . Los iones salinos son separados del cristal y rodeados cada uno de ellos por moléculas de agua formando una **capa de hidratación**. Esta situación se repite y puede llevar a la total disolución del cristal (fig 3.4 a).

El agua también disuelve a sustancias **covalentes polares** como glúcidos, alcoholes, aldehidos, cetonas, aminas y amidas. En estos casos es la capacidad del agua para formar puentes de hidrógeno con algunos grupos de esos compuestos (fig 3.4 b y c) lo que causa la disolución.

Algunas moléculas, como las proteínas, se disuelven en agua debido a que poseen grupos polares y grupos iónicos.

Los solutos cambian algunas propiedades del agua: disminuyen el punto de congelación y aumentan el punto de ebullición y la presión osmótica. Determinados líquidos orgánicos como el líquido sinovial que actúa de lubricante en las articulaciones son disoluciones acuosas, cuya viscosidad está modificada.

Determinadas sustancias, como la celulosa, tienen grupos polares pero, por su gran tamaño molecular, aunque retienen agua no se disuelven en ella. Se denominan sustancias **hidrófilas** en contraposición a las que poseen grupos no polares que se llaman **hidrófobas** (fig. 3.4 c).

Actividades

- ¿Por qué no se hielan los líquidos corporales de los peces cuando nadan en agua a temperaturas próximas a -0.5°C ? ¿Se podrían beber esas aguas?
- El alcohol se disuelve muy bien en agua, pero la gasolina no. ¿Cómo te explicas que siendo ambas sustancias compuestos orgánicos y combustibles de alto poder calorífico tengan un comportamiento tan diferente?
- Generalmente, antes de llover hace más frío que después. ¿Tiene explicación este fenómeno?
- ¿A qué se denomina capa de hidratación?

Cohesión y tensión superficial

Los puentes de hidrógeno mantienen unidas las moléculas de agua. Continuamente se están formando y deshaciendo de manera que en cualquier instante la mayor parte de las moléculas de agua se hallan unidas por dichos enlaces. Debido a ello el agua líquida tiene una gran **cohesión interna**. No obstante como la duración media de un enlace de hidrógeno es tan sólo del orden de 10^{-9} s, el agua no es viscosa sino muy fluida.

Gracias a la cohesión y la adhesión a las paredes de los finos tubos leñosos, el agua puede ascender desde las raíces de las plantas hasta la copa de los árboles, sin que la columna de agua se rompa. La cohesión explica también las propiedades del agua como elemento **estructural** en el relleno de células y órganos complejos.

La **tensión superficial** mide la dificultad para extender o romper la superficie de un líquido. El agua tiene una tensión superficial muy alta. Gracias a los puentes de hidrógeno las moléculas de agua superficiales se mantienen unidas entre ellas y con otras que están debajo. Ello hace que su superficie se comporte como si estuviera recubierta por una película, por lo que muchos insectos y animales pequeños pueden mantenerse o caminar sobre su superficie.

Disociación del agua

El agua se disocia en iones lo que hace que en realidad el agua pura sea una mezcla de tres especies en equilibrio químico: agua sin disociar (H_2O), protones hidratados (H_3O^+), e iones hidroxilo (OH^-):

$H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$ (por comodidad escribiremos H^+ en lugar de H_3O^+).

Esta disociación es muy débil. El producto iónico K_w a $25^\circ C$ es:

$$K_w = [H^+][OH^-] = 1,0 \cdot 10^{-14} \rightarrow [H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$$

Este producto iónico es constante, lo cual significa que un incremento en la concentración de uno de los iones supondría una disminución en la concentración del otro, para mantener constante el producto mencionado.

Determinadas sustancias, al disolverse en agua, pueden alterar la concentración de hidrogeniones, y entonces se utilizan los términos de **acidez** y **alcalinidad**. Una **disolución acuosa** es **ácida** cuando la concentración de hidrogeniones es mayor de 10^{-7} moles/litro; es **alcalina** cuando la concentración de hidrogeniones es menor de 10^{-7} moles/litro, y es **neutra** cuando la concentración de hidrogeniones es 10^{-7} moles/litro.

Para simplificar los cálculos y las notaciones, Sørensen ideó expresar dichas concentraciones utilizando logaritmos, y así definió el **pH** como el logaritmo cambiado de signo de la concentración de hidrogeniones. Según esto:

- disolución neutra: $pH = 7$
- disolución ácida: $pH < 7$
- disolución alcalina o básica: $pH > 7$

La escala de pH es logarítmica. Por ejemplo:

- $pH = 3$ significa que $[H^+] = 0'001$ mol/litro.
- $pH = 4$ significa que $[H^+] = 0'0001$ mol/litro.
- $pH = 5$ significa que $[H^+] = 0'00001$ mol/litro.

Por tanto una disolución a $pH = 3$ contiene 10 veces más hidrogeniones que una a $pH = 4$, y ésta 10 veces más que otra a $pH = 5$.

En la (fig. 3.5) se señala el pH de algunas disoluciones presentes en los seres vivos y de otras de uso frecuente en la vida diaria. En general, hay que decir que los procesos bioquímicos se desarrollan a valores de pH próximos a la neutralidad.

Actividades

- Al iluminar un cloroplasto, el pH de los tilacoides pasa de $pH = 7$ a $pH = 5$. ¿Cuánto ha variado la concentración de iones hidrógeno por litro?
- Bebo un zumo de tomate $pH = 4$ y al cabo de poco tiempo de mezclarse con el jugo estomacal el $pH = 2$? ¿Cuánto ha variado la concentración de iones hidrógeno por litro?
- Compara el caso a y el b. ¿Es igual la variación?

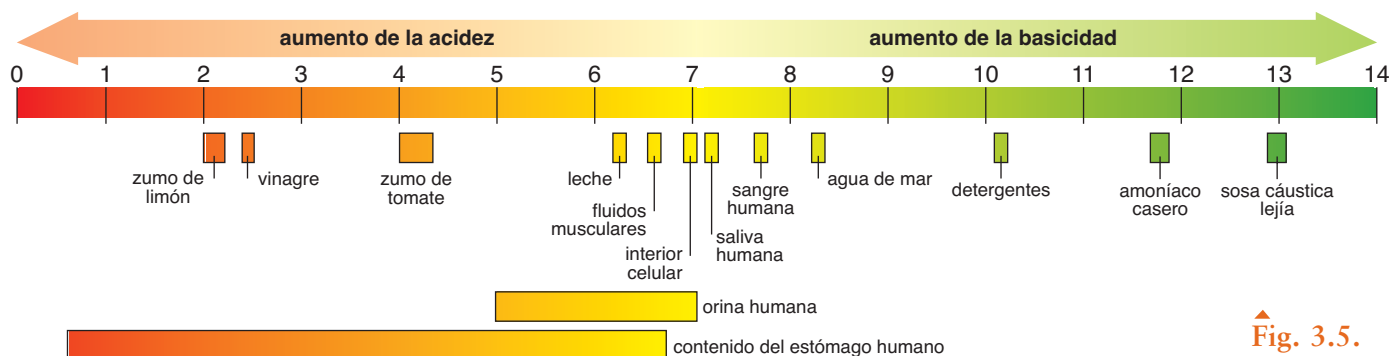


Fig. 3.5.

4 LAS SALES MINERALES

Los organismos presentan en su composición muchas sales minerales, unas sólidas y otras disueltas, que constituyen un pequeño porcentaje del total.

Las sales minerales sólidas tienen una función principalmente esquelética o de sostén, como el carbonato cálcico, CaCO_3 , que forma el caparazón de gasterópodos y bivalvos, de corales y muchos protozoos, impregna el caparazón de los crustáceos, etc.; el fosfato cálcico, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, constituye la materia mineral de los huesos de los vertebrados.

Aunque no es una sal, la sílice (SiO_2) desempeña una función semejante: impregna y endurece los tallos de muchas plantas, como gramíneas y equisetos, y forma el caparazón de muchos microorganismos.

Las sales minerales disueltas aportan diferentes iones que intervienen en numerosas reacciones del metabolismo. Además contribuyen a regular el pH y el equilibrio osmótico. Entre los iones más abundantes, podemos destacar:

- **aniones:** sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-), fosfatos (HPO_4^{2-} , H_2PO_4^-), nitrato (NO_3^-) y cloruro (Cl^-).
- **cationes:** Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} .

Regulación del pH

El mantenimiento de la vida requiere que el pH de los fluidos celulares y orgánicos se mantenga dentro de ciertos límites, ya que de lo contrario, podría producirse un cambio de estructura de muchas biomoléculas y la alteración de muchas reacciones químicas. Para ello, en las soluciones acuosas de los seres vivos están presentes los llamados sistemas **tampón** o **amortiguadores de pH**, formados por disoluciones de ácidos débiles y de su correspondiente base conjugada.

La adición de pequeñas cantidades de H^+ o de OH^- a uno de estos sistemas no produce cambios de pH en un cierto intervalo. Ello se debe a que el ácido neutraliza los iones OH^- y la base los H^+ .

Entre los tampones más comunes en los seres vivos, podemos citar el **tampón bicarbonato** y el **tampón fosfato**.

El tampón bicarbonato es común en los líquidos intercelulares. Mantiene el pH en valores próximos a 7,4 gracias al equilibrio entre el ión bicarbonato y el ácido carbónico, que a su vez se disocia en dióxido de carbono y agua:

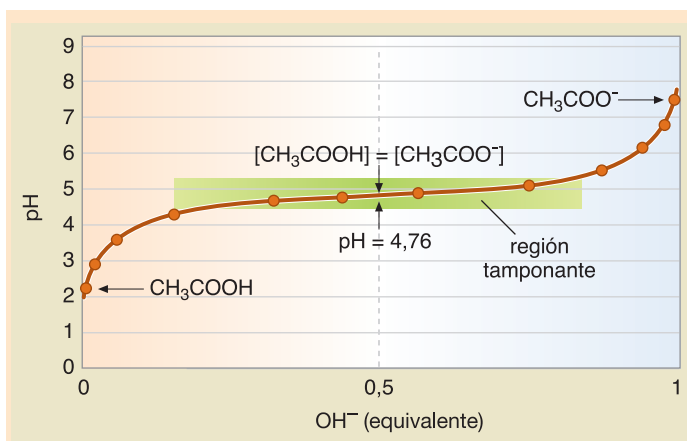
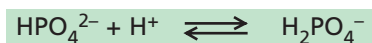


Fig. 4.1. Variación del pH en un tampón de ácido acético-acetato.

A una solución de ácido acético 0,1 M, se le añaden progresivamente gotas de una solución de NaOH 0,1 M. En la curva se representa el valor del pH de la solución conforme aumenta la concentración de hidroxilos. Se señala en cada extremo de la curva el predominio del ácido disociado o sin disociar, y al valor de $\text{pH} = 4,76$, hay la misma cantidad de ácido disociado como sin disociar. En torno a este punto, los cambios de concentración de hidroxilos apenas influyen en el cambio de pH de la disolución. A esta región se le denomina **región tamponante** (fig. 4.1).

Si aumenta la concentración de hidrogeniones en el medio por cualquier proceso químico, el equilibrio se desplaza a la derecha, y se elimina el exceso de dióxido de carbono producido. Si por el contrario disminuye la concentración de hidrogeniones del medio, el equilibrio se desplaza a la izquierda, para lo cual se toma dióxido de carbono del medio.

El **tampón fosfato** se encuentra en los líquidos intracelulares, y mantiene el pH en torno a 6,86 debido al equilibrio:



Actividades

- ¿Por qué es importante que los fluidos biológicos mantengan su pH dentro de ciertos límites?
- Indica cómo reacciona el tampón fosfato: a) cuando se añade un ácido; b) cuando se añade una base; c) cuando se añade una sustancia a $\text{pH} = 7$; cuando se añade agua de mar; cuando se añade agua pura.

■ Propiedades de las dispersiones

Los líquidos presentes en el interior de los seres vivos son dispersiones de diversas sustancias en el seno del agua.

Si las partículas dispersas son de tamaño inferior a 10^{-7} cm se habla de dispersiones moleculares o **disoluciones verdaderas**. Están formadas por sales minerales o por moléculas orgánicas pequeñas, como los azúcares y los aminoácidos.

Cuando las partículas dispersas están comprendidas entre 10^{-5} cm y 10^{-7} cm se habla de **dispersiones coloidales**, formadas principalmente por sustancias orgánicas, como las proteínas, los ácidos nucleicos y los polisacáridos. Las dispersiones coloidales concentradas reciben el nombre de **geles**, y las diluidas se llaman **soles**.

Existen también **dispersiones coloidales hidrófobas**, en las que las partículas dispersas no son afines al agua; pero estas dispersiones no son estables, sino que las partículas dispersas tienden a reunirse y formar una fase separada del agua. Las dispersiones hidrófobas pueden estabilizarse formando las llamadas **emulsiones** cuando actúan sustancias que impiden la unión entre partículas dispersas. Así están presentes las grasas en la leche, y son algunas proteínas las que estabilizan la emulsión.

Las partículas dispersas pueden provocar tres fenómenos en relación con su movimiento en el seno del agua: la **difusión**, la **diálisis** y la **ósmosis**.

La **difusión** es el fenómeno por el cual las moléculas de un soluto se mueven continuamente en todas direcciones tendiendo a distribuirse uniformemente en el seno del agua hasta ocupar todo el espacio disponible.

Las moléculas se mueven desde las zonas de mayor a menor concentración hasta que ésta sea la misma en todo el espacio de difusión.

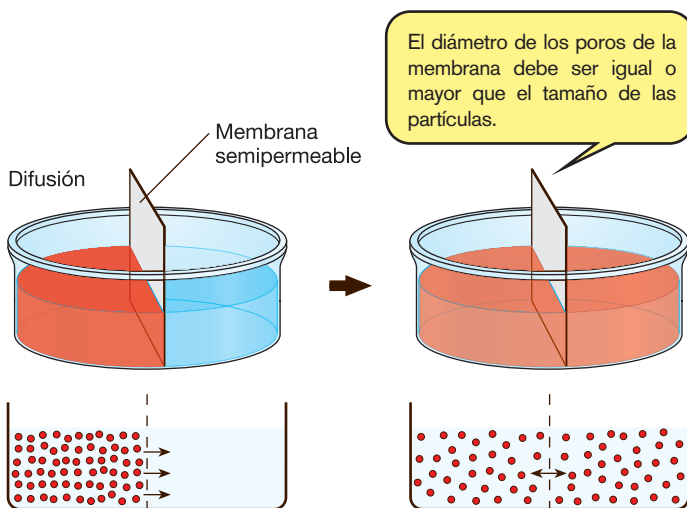


Fig. 4.2. Difusión a través de una membrana.

La difusión puede ocurrir también a través de una membrana si ésta es lo suficientemente permeable como para que la puedan atravesar las partículas del soluto (fig. 4.2). Así se realizan los intercambios de gases y de algunos nutrientes entre la célula y su entorno (fig. 4.3).

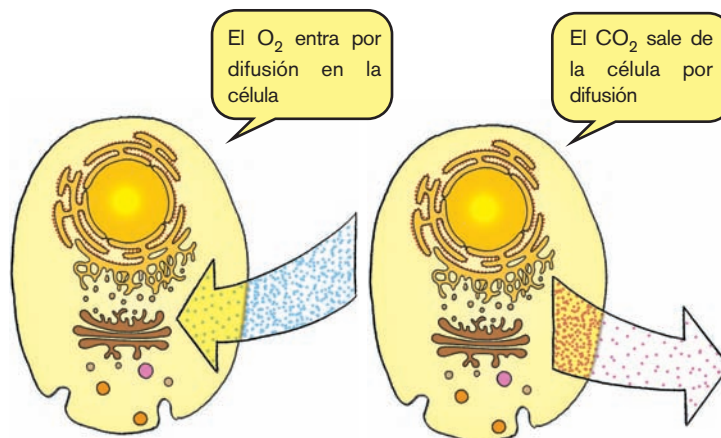


Fig. 4.3. Difusión de gases entre la célula y el medio.

La **diálisis** es una difusión selectiva que separa uno o varios solutos de una disolución a través de una membrana cuya permeabilidad solamente permite el paso de las partículas más pequeñas. (fig. 4.4).

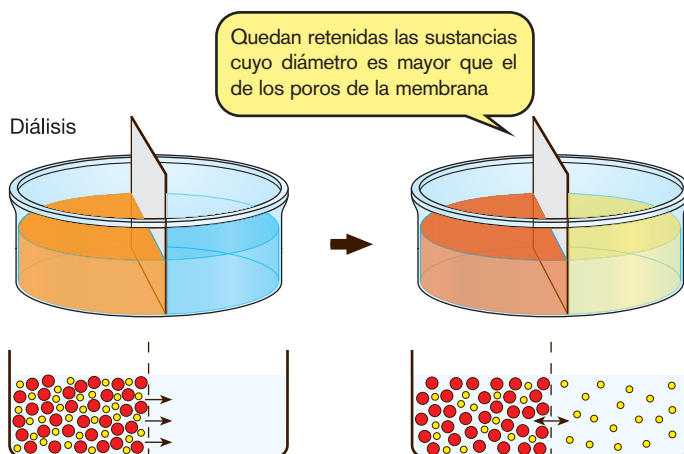


Fig. 4.4. Diálisis.

La diálisis de la sangre o **hemodiálisis** sustituye a la filtración renal en las personas en las que ésta no funciona utilizando membranas artificiales. Se elimina así de la sangre urea y otros metabolitos y se mantienen las moléculas más grandes como las proteínas plasmáticas

La **ósmosis** (fig. 4.5) es el fenómeno por el cual tiende a igualarse la concentración de dos disoluciones separadas por una membrana semipermeable (es decir, que permite el paso de las moléculas de agua pero no las del soluto). Las moléculas de agua se mueven desde las zonas de mayor concentración de agua (agua pura o disoluciones diluidas) a las zonas donde la concentración de agua es menor (disoluciones concentradas, en las que las moléculas de el agua están ligadas a las partículas de soluto) El flujo de agua a través de la membrana es por consiguiente asimétrico: pasa de la disolución diluida a la concentrada.

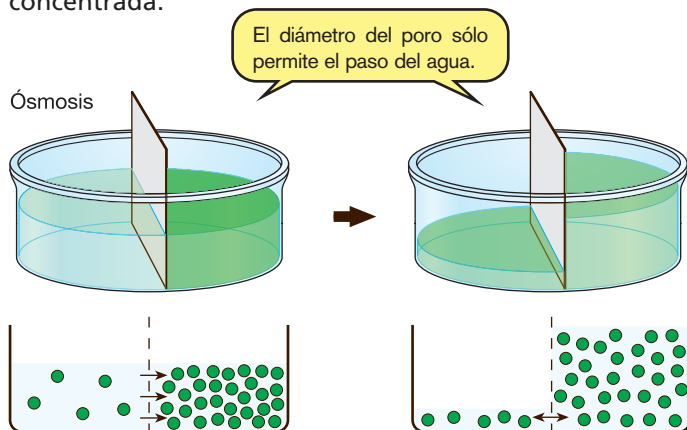


Fig. 4.5. Ósmosis.

La cantidad de agua que atraviesa una membrana semipermeable depende de la concentración de partículas disueltas a uno y otro lado, y no de su naturaleza.

La ósmosis genera una diferencia de contenido en agua a un lado y otro de la membrana, lo cual provoca una presión sobre la misma que recibe el nombre de **presión osmótica**. Dicha presión equivale a la debería aplicarse sobre la membrana para neutralizar el flujo osmótico.

Cuando dos disoluciones se hallan separadas por una membrana semipermeable, se denomina **hipertónica** a aquella disolución que está más concentrada, pues es la que generará más presión sobre la membrana; se denomina **hipotónica** a la solución más diluida, pues generará menos presión sobre la membrana; si las dos disoluciones tienen la misma concentración, se denominan **isotónicas**.

Fenómenos osmóticos

Las membranas celulares funcionan como si fueran semipermeables; por tanto, el fenómeno de ósmosis puede provocar intercambios de agua entre el interior y el exterior de la célula. El resultado de dichos intercambios depende de la concentración de la disolución acuosa presente en el medio externo (fig. 4.6).

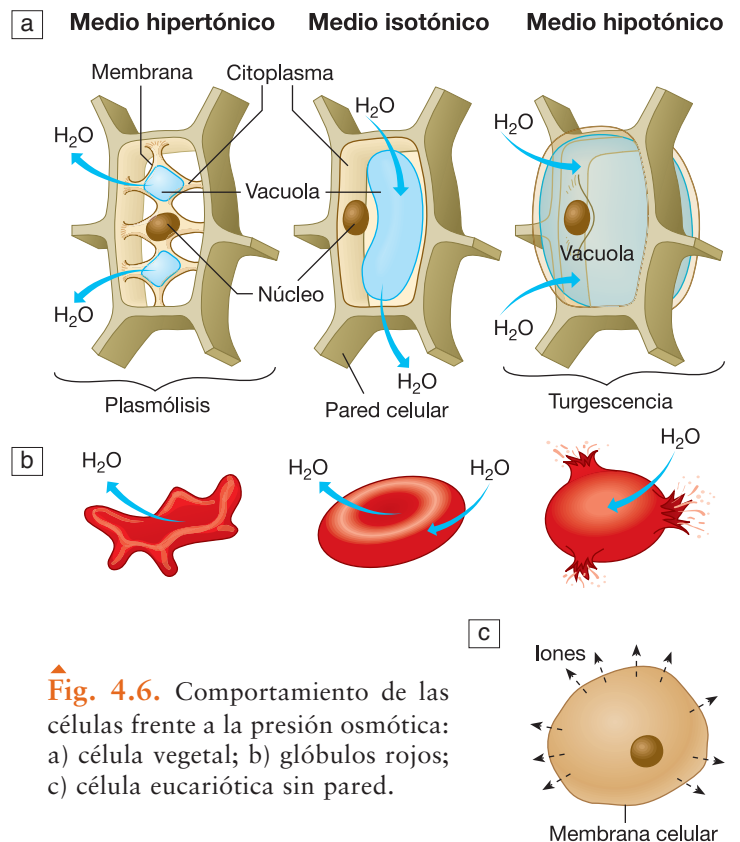


Fig. 4.6. Comportamiento de las células frente a la presión osmótica: a) célula vegetal; b) glóbulos rojos; c) célula eucariótica sin pared.

a) Si el medio externo es hipertónico, el agua tenderá a salir de la célula. Las células animales pierden agua y se contraen. En las células vegetales, la vacuola y el citoplasma se contraen y la membrana plasmática se separa de la rígida pared celular, fenómeno que recibe el nombre de **plasmólisis** (fig. 4.7). En ambos casos, una pérdida excesiva de agua puede producir la muerte celular.

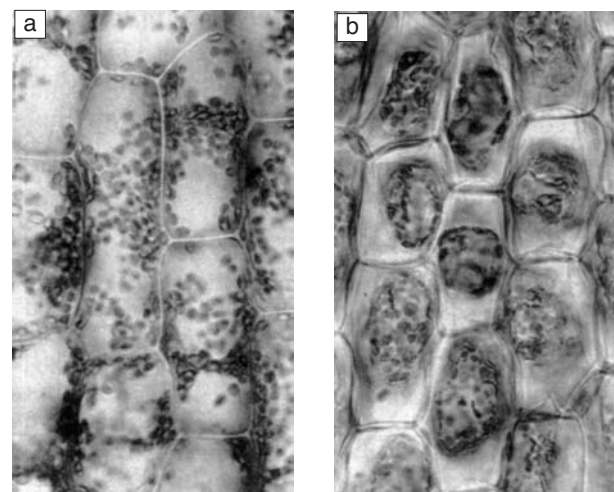


Fig. 4.7. Plasmólisis: a) célula normal; b) célula plasmolizada.

- b) Si el medio externo es hipotónico, el agua tenderá a entrar en la célula, y ésta se hinchará, fenómeno que, en las células vegetales, recibe el nombre de **turgescencia**. Las células sin pared, expulsan iones para rebajar la presión osmótica interna aunque en algunos casos pueden llegar a reventar (fig. 4.6 b y c). En las células vegetales, la vacuola se hincha y presiona al citoplasma contra la pared celular. Sin embargo, no llega a reventar debido a que la fuerte pared celular que la contiene es algo elástica y puede estirarse un poco pero no se rompe. Cuando la pared ya no puede estirarse más, impide que siga entrando agua y la célula deja de hincharse (fig. 4.6 a).
- c) Si el medio externo es isotónico entra y sale la misma cantidad de agua (fig. 4.6 a y b).

Muchos **fenómenos biológicos** se deben a la **ósmosis**:

- Los protozoos de agua dulce tienen vacuolas contráctiles para bombear continuamente al exterior el exceso de agua que absorben por ósmosis (fig. 4.8).

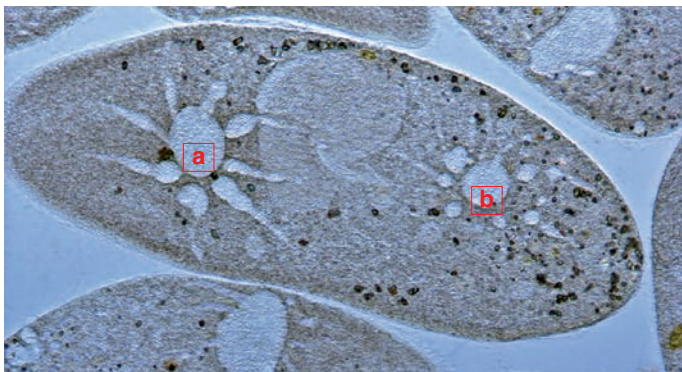


Fig. 4.8. Vacuolas contráctiles (a y b) en un paramecio.

- Algunos movimientos en las plantas, como el cierre rapidísimo de la trampa de la planta carnívora Venus atrapamoscas (*Dionaea muscipula*) (fig. 4.9), se producen al perder agua las células turgentes que la mantienen abierta. El contacto con el insecto hace que esas células eliminen potasio al exterior lo que produce la salida de agua por ósmosis y la caída de la turgescencia. Un fenómeno semejante cierra las hojas de las mimosas cuando son rozadas.



Fig. 4.9. *Dionaea muscipula*.

- Las raíces absorben agua cuando las disoluciones del suelo son hipotónicas respecto del citoplasma de las células de la planta. En caso contrario, el agua sale de la planta y ésta acaba secándose.

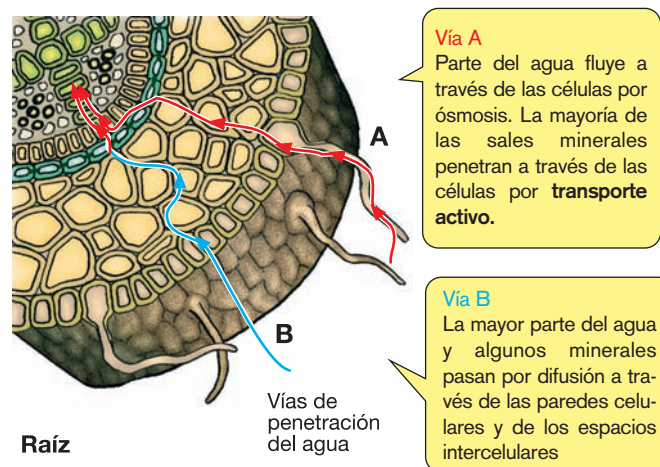


Fig. 4.10. Vías de penetración del agua y las sales minerales en la raíz.

Otros mecanismos de transporte de agua y nutrientes son la **difusión facilitada** y el **transporte activo**. Ambos procesos serán ampliamente estudiados en el tema 7

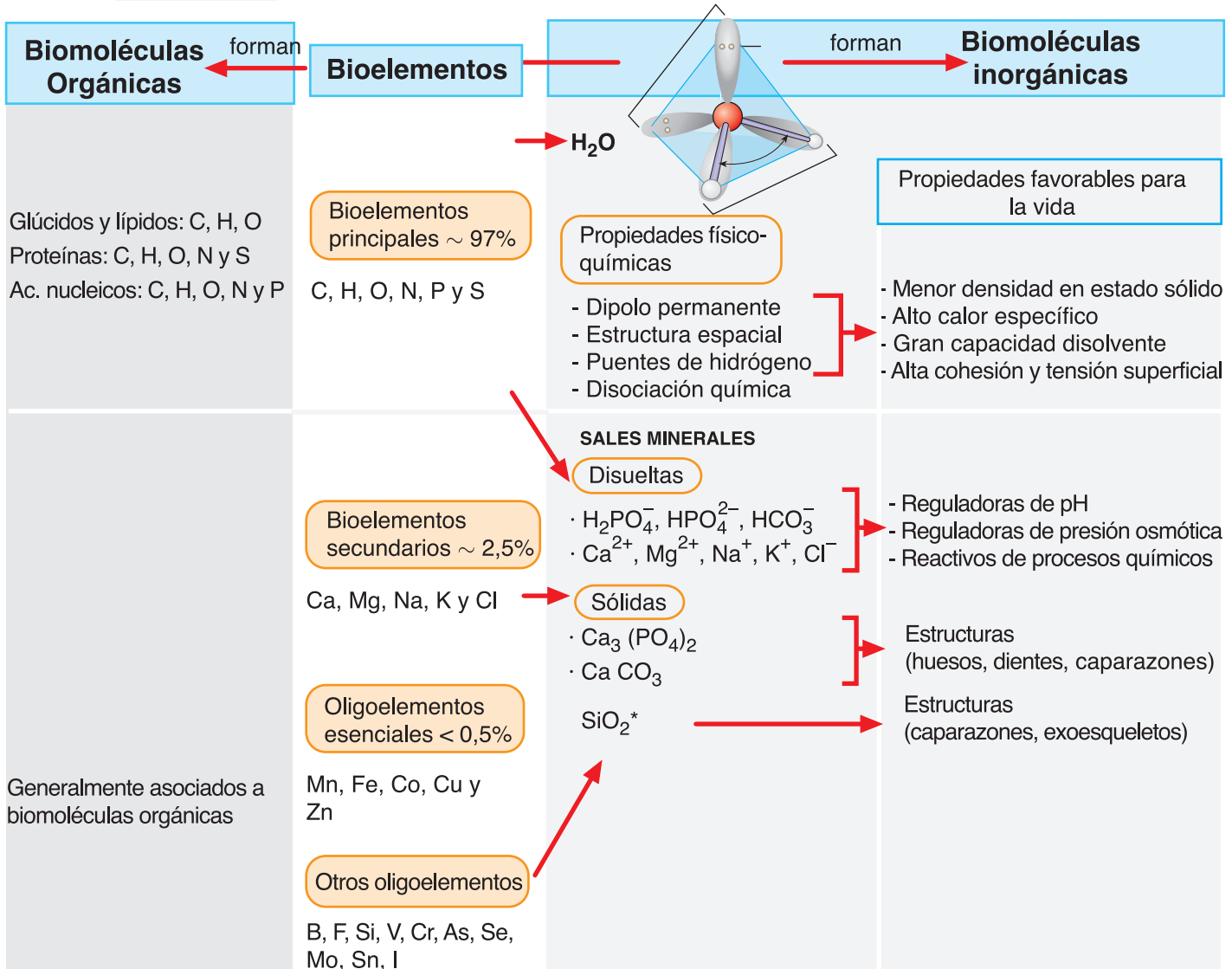
Actividades

- a) Los colirios son medicamentos que se aplican depositando gotitas sobre la superficie del ojo. El prospecto nos indica que se trata de una disolución isotónica (isomótica). ¿Es importante ese dato o realmente lo único importante es el principio activo (la sustancia que cura) contenido en el colirio.
- b) ¿Es lo mismo una diálisis que una filtración? ¿En que se parecen? ¿En qué se diferencian?
- c) ¿Por qué no se puede regar con agua del mar?
- d) ¿Por qué no explotan las células de una planta cuando se riegan con agua dulce que es claramente hipotónica con respecto al citoplasma celular?

Bioelementos y biomoléculas inorgánicas

Se denominan bioelementos a aquellos elementos químicos que forman la materia viva.

1 H Hidrógeno																	2 He Helio						
3 Li Litio	4 Be Berilio																	5 B Boro	6 C Carbono	7 N Nitrógeno	8 O Oxígeno	9 F Fluor	10 Ne Neón
11 Na Sodio	12 Mg Magnesio																	13 Al Aluminio	14 Si Silicio	15 P Fósforo	16 S Azufre	17 Cl Cloro	18 Ar Argón
19 K Potasio	20 Ca Calcio	21 Sc Escandio	22 Ti Titanio	23 V Vanadio	24 Cr Cromo	25 Mn Manganeso	26 Fe Hierro	27 Co Cobalto	28 Ni Níquel	29 Cu Cobre	30 Zn Zinc	31 Ga Galo	32 Ge Germanio	33 As Arsénico	34 Se Selenio	35 Br Bromo	36 Kr Kriptón						
37 Rb Rubidio	38 Sr Estroncio	39 Y Ytrio	40 Zr Circonio	41 Nb Niobio	42 Mo Molibdeno	43 Tc Tecnecio	44 Ru Rutenio	45 Rh Rodio	46 Pd Paladio	47 Ag Plata	48 Cd Cadmio	49 In Indio	50 Sn Estaño	51 Sb Antimonio	52 Te Telurio	53 I Yodo	54 Xe Xenón						
55 Cs Cesio	56 Ba Bario	L Lantánidos		72 Hf Hafnio	73 Ta Tántalo	74 W Wolframio	75 Re Renio	76 Os Osmio	77 Ir Iridio	78 Pt Platino	79 Au Oro	80 Hg Mercurio	81 Tl Talio	82 Pb Plomo	83 Bi Bismuto	84 Po Polonio	85 At Astatio	86 Rn Radón					
87 Fr Francio	88 Ra Radio	A Actínidos																					



- 1** Define los siguientes conceptos: diálisis, presión osmótica, oligoelemento, biomolécula, tampón, plasmolisis, turgescencia, amortiguador de pH.
- 2** Indica cuales de los siguientes cationes y aniones forman parte de la materia viva: Na^+ , K^+ , Fr^+ , Fe^{2+} , Zn^{2+} , H^+ , Ag^+ , Hg^{2+} , Sn^{4+} , SO_4^{2-} , NO_3^- , H_2PO_4^- , H_2SbO_4^- , HCO_3^- , HNO_2^- , CO_3^{2-} , MnO_4^+ .
- 3** Establece parejas de número-letra entre los siguientes bioelementos y sus funciones.

Bioelemento	Función
1. C	a. Forma parte de la molécula de la clorofila, es metálico.
2. P	b. Forma parte de todas las proteínas y en forma iónica lo toman las plantas.
3. Zn	c. Se encuentra en la estructura del DNA y en un sistema tampón.
4. Mg	d. Es un cofactor de enzimas de oxidación reducción.
5. N	e. Interviene en los procesos de transporte electrónico, en la respiración y en la fotosíntesis.
6. Fe	f. Se encuentra en todas las biomoléculas orgánicas y en algunas inorgánicas.
7. Co	g. Forma parte de la vitamina B_{12}

- 4** ¿Por qué hay tanta diferencia en el % de composición elemental entre la corteza terrestre y los seres vivos?
- 5** ¿Por qué decimos que la molécula de agua es eléctricamente neutra? ¿Cómo se establece el dipolo permanente en la molécula de agua?
- 6** Generalmente afirmamos que la vida se desarrolla en torno a valores de pH neutros. ¿Es cierto esto siempre y en todos los casos? Cita algunos ejemplos que confirmen tu respuesta.
- 7** Desde la antigüedad se conservan los alimentos disponiéndolos en disoluciones muy concentradas de sal (salmueras, salazones) o de azúcar (compotas, mermeladas).
 - a) ¿Tiene esto algo que ver con lo que hemos estudiado en el tema?
 - b) ¿Cultivarías algún microorganismo (bacteria, protozoo, hongo) en un medio muy salado o muy azucarado? ¿Por qué?
- 8** ¿Qué ocurre en la sangre cuando aumenta la concentración de CO_2 ? ¿En qué circunstancias fisiológicas puede darse este proceso? ¿A qué se denomina acidosis sanguínea?

- 9** Al alcanzar la menopausia se produce con frecuencia en las mujeres una dolencia denominada osteoporosis. Para diagnosticarla y tratarla se utiliza una técnica denominada densitometría ósea.
 - a) ¿Qué bioelemento está implicado en el proceso de la osteoporosis?
 - b) ¿Qué mide la densitometría?
- 10** Tenemos dos recipientes A y B separados entre sí por una membrana semipermeable. En ellos colocaremos diferentes disoluciones. Indica el sentido del flujo del agua en cada caso.

A	B
Agua	Agua
Agua	NaNO_3 (0,1M)
Glucosa (0,1M)	NaNO_3 (0,05M)
Glucosa (90 g/L)	NaNO_3 (73 g/L)

Pm de la glucosa = 180. Pm del NaNO_3 = 73

- 11** Explica por qué flota el hielo sobre el agua. ¿Qué consecuencias tiene para el desarrollo de la vida en los ecosistemas acuáticos? Describe el proceso.
- 12** Señala si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones, explicando por qué?
 - a) El agua tiene en su molécula un dipolo permanente.
 - b) El agua disuelve a sustancias polares y no polares.
 - c) El agua disuelve a sustancias iónicas y polares, pero no a las no polares.
 - d) El agua es un disolvente apolar que disuelve a las sustancias apolares.
- 13** Una de las propiedades del agua que cambia cuando se disuelve en ella un soluto es la presión de vapor:
 - a) ¿Aumenta o disminuye?
 - b) ¿Cuál es la explicación?
- 14** Justifica basándote en la estructura electrónica espacial del agua (T), en la existencia de un dipolo permanente en la molécula (DP), o en ambas (A), las siguientes propiedades físico químicas del agua:
 - a) Capacidad de disolver sustancias iónicas.
 - b) Capacidad de disolver sustancias polares.
 - c) Mayor densidad en estado sólido.
 - d) Alto calor específico.
 - e) Elevado calor de vaporización.

Polvo de estrellas

Se denomina **nucleosíntesis** al conjunto de procesos por el que se forman los diferentes átomos que forman la materia. No hay ni hubo una nucleosíntesis especial para los bioelementos, si bien los procesos que dan lugar a los diferentes átomos pueden ser diferentes.

El Sistema Solar, en donde nació y se desarrolló la vida que conocemos, se formó a partir de una enorme nube cósmica muy rica en hidrógeno en la que ya existían los demás elementos químicos naturales y entre ellos los bioelementos. Por tanto la nucleosíntesis de nuestra materia se había producido con anterioridad. ¿Cuándo? ¿Dónde?

La investigación astrofísica reconoce cuatro escenarios para la nucleosíntesis: 1) el Big Bang; 2) las estrellas; 3) Las explosiones estelares; 4) Los rayos cósmicos

1. Nucleosíntesis primordial: nuestro universo surge a partir de una gran explosión (Big Bang) hace unos 13 500 millones de años y su comienzo supone el comienzo de la materia, el tiempo y el espacio. En los tres primeros minutos se forman el H y el He (y también pequeñas trazas de Li y Be) que llenan el Universo y se expanden con el.

2. Nucleosíntesis estelar. Se produce en las estrellas a lo largo de su vida debida, principalmente, a la fusión nuclear. Es un proceso por

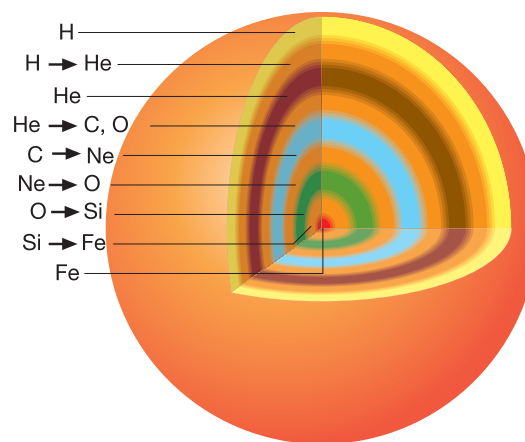
tanto que existe desde que existen las estrellas, si bien a nosotros nos afecta la que se produjo antes de la formación del sistema solar, en estrellas de primera y segunda generación (el Sol es de tercera).

Las estrellas se forman por condensación de vastas nebulosas en las que el hidrógeno es el componente mayoritario. La contracción gravitatoria hace aumentar la temperatura de la nebulosa. Cuando se alcanza valores del orden del 10^7 K comienza la reacción nuclear por la que el hidrógeno se fusiona en helio. Todas las estrellas comienzan así. Lo que sucede después depende de la masa de la estrella que a su vez condiciona su temperatura y los procesos nucleares que se desarrollan (Tabla I).

Estrellas semejantes a nuestro Sol transforman lentamente su H en He (ciclo protón-protón) que se va acumulando en su núcleo. (A partir 1,5 masas solares cada vez cobra más importancia la fusión de H a He mediante un proceso denominado ciclo CNO que produce N). La compresión gravitatoria hace aumentar la temperatura hasta alcanzar el punto de fusión nuclear del He para originar C y O que se van acumulando en el núcleo. La estrella pulsa y se expande convertida en una gigante roja. Las capas

exteriores son expulsadas por intenso viento estelar y mediante explosiones que generan una nebulosa planetaria.

En **estrellas muy masivas**, la temperatura del núcleo va aumentando hasta alcanzar la de fusión nuclear del C. Este proceso puede continuar de manera que la estrella adquiere una estructura de capas concéntricas, en donde se sintetizan elementos cada vez más pesados.



Algunos átomos como el Co pueden sintetizarse en esta fase por captura de neutrones lentos.

3. Las explosiones estelares. Cuando se llega al Fe el proceso cesa, el núcleo de Fe no puede fusionarse para compensar la contracción gravitatoria, se produce su ruptura (fotodisociación), las capas estelares caen sobre el núcleo y la estrella explota convertida en **supernova tipo II**. Se produce un intensísimo bombardeo de neutrones (rápidos) capaz de generar muchos elementos pesados **Cr, Fe, Ni, I, Se**, etc... que son repartidos por el espacio junto con los otros componentes de la estrella sintetizados en etapas anteriores.

4. Rayos cósmicos. Su interacción con la materia interestelar da lugar a numerosos elementos entre ellos el boro, **B**.

Proceso nuclear	Combustible nuclear	Productos de fusión	T ^a del núcleo (K)	Masa mínima de la estrella (Sol=1)
Fusión del hidrógeno	H	He	$2 \cdot 10^7$	0,1
Fusión del helio	He	C, O	$2 \cdot 10^8$	1
Fusión del carbón	C	O, Ne, Na, Mg	$8 \cdot 10^8$	1,4
Fotodisociación del neon	Ne	O, Mg	$1,5 \cdot 10^9$	5
Fusión del oxígeno	O	S, P, Si, Mg	$2 \cdot 10^9$	10
Fusión del silicio	Si	Ni, Co, Fe	$3 \cdot 10^9$	20

3

LOS LÍPIDOS





Los lípidos biológicos constituyen un grupo químicamente heterogéneo cuya característica común es la insolubilidad en agua.

También sus propiedades y funciones son diversas. La investigación de su papel en la constitución de membranas biológicas nos aporta una visión dinámica, más allá del mero soporte estructural que tradicionalmente se les atribuía. Así por ejemplo, la función de las membranas celulares gliales en los procesos de refuerzo del aprendizaje constituye un campo fascinante en las fronteras de la Ciencia.

Muchas hormonas y vitaminas se encuadran dentro de este grupo de compuestos, que también abarca aromas esenciales vegetales, de tanta importancia en la evolución.

En los animales y en algunos órganos vegetales constituyen potentes depósitos de energía química. Los cetáceos son capaces de almacenar toneladas de lípidos que utilizan como depósito energético y también como elemento de control de su flotabilidad. Por desgracia esta abundancia los ha focalizado como objetos de deseo y ha desencadenado cacerías atroces que han generado catástrofes en la salud ecológica de los mares.

- 1** Los lípidos: propiedades generales
- 2** Ácidos grasos
- 3** Triacilglicéridos
- 4** Ceras
- 5** Lípidos de membrana
- 6** Lípidos sin ácidos grasos

Resumen

Actividades

Documento

La sustancia blanca

1 LOS LÍPIDOS: PROPIEDADES GENERALES

Los **lípidos** son un grupo de moléculas orgánicas formadas por carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O), aunque los de mayor complejidad llevan también nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S).

Desde el punto de vista químico son muy heterogéneos, si bien tienen en común las siguientes propiedades físicas:

- son insolubles en agua
- son solubles en disolventes orgánicos (no polares) como benceno, éter, cloroformo, etc.
- son muy poco densos.

Los lípidos se hallan en todos los organismos, aunque en proporciones muy variables de unos a otros e incluso entre los diversos tejidos del mismo organismo. Son los constituyentes básicos de determinadas semillas y frutos oleaginosos (soja, pipas, aceitunas, etc.), de ciertos tejidos animales (como el adiposo), etc.

Los lípidos se pueden clasificar de muchas formas según el criterio que se utilice para ello (composición química, función biológica, posibilidad o no de formar sales –jabones– etc.) (fig. 1.1).

De acuerdo con su composición química, los lípidos pueden clasificarse en:

- Ácidos grasos.** Son ácidos carboxílicos con cadenas de 4 a 36 átomos de carbono. Generalmente siempre tienen número par. Forman parte de muchos lípidos pero rara vez se encuentran libres.
- Triacilglicéridos.** Son ésteres del glicerol y de tres ácidos grasos. Son biomoléculas de reserva energética.
- Ceras.** Son ésteres de un alcohol con un ácido graso, ambos de cadena larga. Actúan como cubierta protectora en animales y plantas, y también como sustancias de reserva.
- Fosfoglicéridos.** Son ésteres de glicerina, dos ácidos grasos y un grupo fosfato al que se une habitualmente otro compuesto polar. Son componentes de las membranas celulares.
- Esfingolípidos.** Son ésteres de la esfingosina con un ácido graso y otros compuestos polares. También son componentes de las membranas celulares.
- Esteroides.** Derivados del ciclopentano perhidrofenandreno. Pertenecen a este grupo algunas hormonas, el colesterol y la vitamina D, entre otros.
- Isoprenoides.** Derivados del isopreno. En este grupo se encuentran las vitaminas A, E y K.

2 ÁCIDOS GRASOS

Los **ácidos grasos** son los componentes característicos de muchos lípidos y rara vez se encuentran libres en las células. Químicamente son ácidos carboxílicos de cadena larga, que suelen tener un número par de átomos de carbono, generalmente entre 12 y 24, siendo los más abundantes los que tienen 16 y 18 carbonos (tabla I).

Las cadenas de los ácidos grasos pueden ser: **saturadas** (sin dobles enlaces) o **insaturadas** (con uno o más dobles enlaces) (fig. 2.1). En los ácidos grasos saturados las cadenas hidrocarbonadas son rectas. En los insaturados los dobles enlaces producen codos, con cambios de dirección (fig. 2.1). Todas las cadenas de los ácidos grasos forman entre sí **enlaces débiles de van der Waals** entre los grupos $-\text{CH}_2-$.

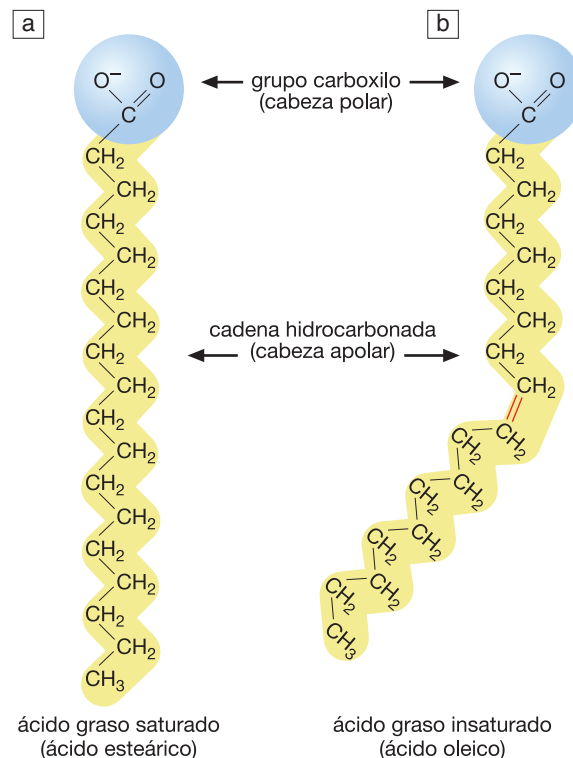


Fig. 2.1. a) Fórmula estructural del ácido esteárico (saturado). b) Fórmula estructural del ácido oleico (insaturado).

Las **propiedades físicas** de los ácidos grasos dependen de la longitud y grado de insaturación de sus cadenas. Las más importantes son el punto de fusión y la solubilidad.

Los **puntos de fusión** de los ácidos grasos aumentan con la longitud de sus cadenas, ya que cuanto más largas sean, más enlaces de van der Waals se formarán entre

ácidos grasos insaturados	fórmula	esqueleto carbonado átomos de carbono : dobles enlaces	punto de fusión (°C)
láurico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{10}-\text{COOH}$	12:0	44,2
mirístico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{12}-\text{COOH}$	14:0	53,9
palmítico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{14}-\text{COOH}$	16:0	63,1
esteárico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{16}-\text{COOH}$	18:0	69,6
araquídico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{18}-\text{COOH}$	20:0	76,5
lignocérico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_{22}-\text{COOH}$	24:0	86,0
ácidos grasos saturados			
palmitoleico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_5-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	16:1	-0,5
oleico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_7-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	18:1	13,4
linoleico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH}-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	18:2	-5
linolénico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2-\text{CH}=\text{CH})_3-(\text{CH}_2)_7-\text{COOH}$	18:3	-11
araquidónico	$\text{CH}_3-(\text{CH}_2)_4-(\text{CH}=\text{CH}-\text{CH}_2)_3-\text{CH}-(\text{CH}_2)_3-\text{COOH}$	20:4	-49,5

Tabla I.

ellas. Los ácidos grasos insaturados tienen un punto de fusión más bajo que los saturados con igual número de carbonos, debido a que los codos de la cadena reducen el número de enlaces de van der Waals (fig. 2.2).

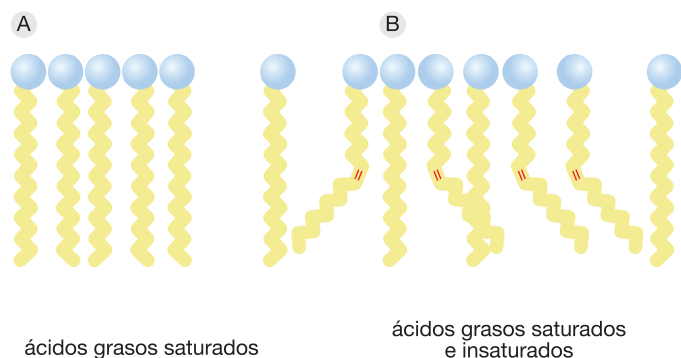


Fig. 2.2. Empaquetamiento de ácidos grasos.

En cuanto a la **solubilidad**, los ácidos grasos son moléculas **anfipáticas**, es decir, **bipolares** que tienen una zona hidrófila, con afinidad por el agua, constituida por el grupo carboxilo ($-\text{COO}^-$), que sería una especie de **cabeza polar**, y una zona hidrófoba o **cola apolar**, formada por la cadena hidrocarbonada, que es repelida por el agua. El gran tamaño de esta zona es la responsable de que los ácidos grasos sean insolubles en el agua y solubles en disolventes orgánicos.

Debido a esta propiedad, si echamos en el agua unas gotas de ácido graso se forma una fina película en la superficie de separación aire-agua, en la cual las moléculas de ácido graso se disponen en empalizada perpendi-

cularmente a dicha superficie, con los extremos que contienen el grupo $-\text{COOH}^-$ hundidos en el agua y el resto de la cadena sobresaliendo fuera de ella. Sin embargo, cuando los ácidos grasos se colocan en el seno del agua se disponen también en empalizada pero formando estructuras más o menos esféricas a las que se denomina **micelas**.

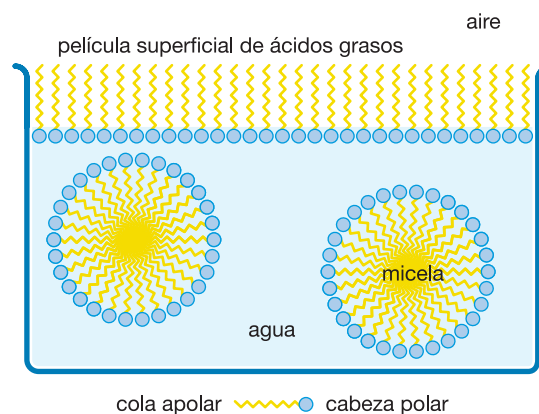


Fig. 2.3. Orientación en monocapa de ácidos grasos y formación de micelas.

Actividades

- ¿Por qué decimos que los ácidos grasos son sustancias anfipáticas?
- ¿Qué relación hay entre la longitud de la cadena de un ácido graso y su punto de fusión? ¿Qué relación hay entre el nº de dobles enlaces de un ácido graso y su punto de fusión?
- ¿Por qué se disponen los ácidos grasos en el seno del agua formando micelas? ¿Podríamos unir dos micelas?

3 TRIACILGLICÉRIDOS

También se denominan **triacilgliceroles**, **grasas** o **grasas neutras**. Están formados por tres ácidos grasos unidos mediante enlace éster con el glicerol (fig. 3.1).

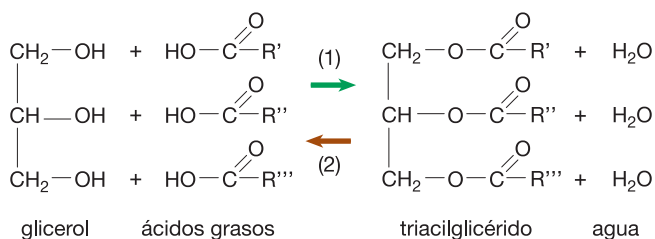


Fig. 3.1. Reacción de: 1) síntesis y 2) hidrólisis de un triacilglicérido.

Si los tres ácidos grasos son iguales se denominan triacilglicéridos **simples** (fig. 3.2 a) y se nombran según el ácido graso que contienen, como por ejemplo la triestearina, trioleína, tripalmitina, etc. Cuando los ácidos grasos son diferentes reciben el nombre de triacilglicéridos **mixtos** (fig. 3.2 b).

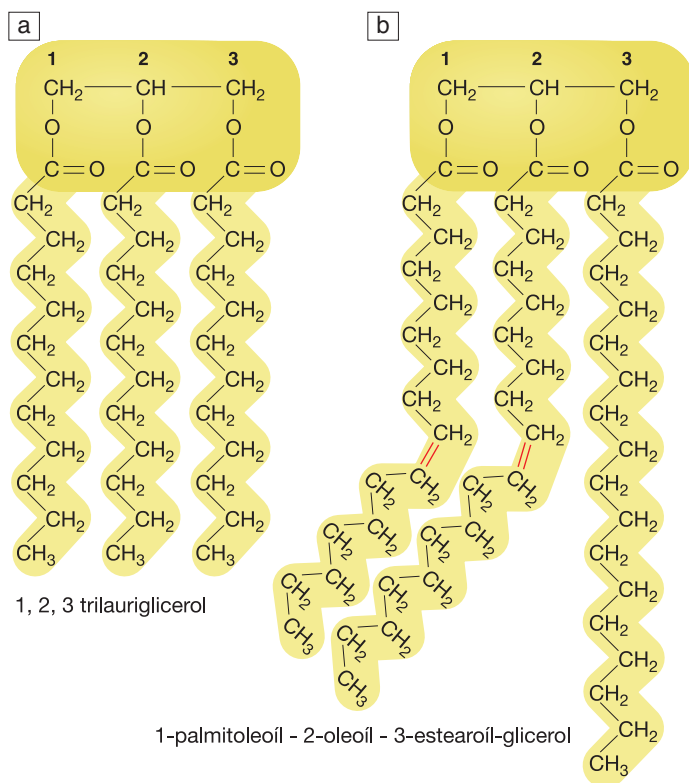


Fig. 3.2. a) Un triglicérido simple; b) un triglicérido mixto.

Las mezclas de triacilglicéridos simples y mixtos se denominan **grasas naturales**, las cuales, a temperatura ambiente, pueden ser sólidas como los sebos y tocinos de los animales endotermos, o líquidas como los aceites vegetales. Estos últimos son más ricos en ácidos grasos insaturados que las grasas animales.

Debido a que los grupos polares del glicerol (hidroxilos) y de los ácidos grasos (carboxilos) están unidos mediante enlace éster, los triacilglicéridos son moléculas apolares y prácticamente insolubles en agua, sobre la que flotan debido a su baja densidad.

Los triacilglicéridos pueden sufrir hidrólisis química o enzimática.

- **Hidrólisis química.** Se lleva a cabo en la industria mediante tratamiento con álcalis (normalmente NaOH o KOH) sobre las grasas. Esta hidrólisis da glicerol y las sales sódicas o potásicas de los ácidos grasos, conocidas con el nombre de **jabones** (fig. 3.3). Debido a ello este proceso se conoce con el nombre de **saponificación** (del latín *saponis* = jabón).

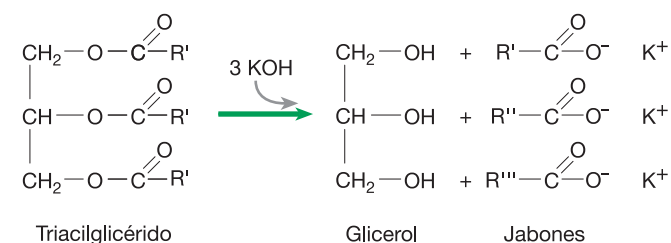


Fig. 3.3. Proceso de saponificación o hidrólisis alcalina de una grasa.

- **Hidrólisis enzimática.** Este proceso se realiza mediante la acción catalítica de enzimas específicas denominadas lipasas. Estas enzimas se localizan intracelularmente en los lisosomas. En organismos animales desarrollados, como los vertebrados, son segregadas también al tubo digestivo formando parte del jugo pancreático y del jugo intestinal. En el ser humano existe también una lipasa gástrica.

■ Función biológica de los triacilglicéridos

a) Reserva energética

La principal reserva energética en los animales son los triacilglicéridos, que se depositan en su mayor parte en el tejido adiposo. La abundancia de este combustible de reserva se debe a dos hechos:

- Los triacilglicéridos poseen un valor energético superior al de los otros combustibles metabólicos. Así, el

rendimiento de la oxidación completa de los ácidos grasos es de alrededor de 9 Kcal/g, a diferencia de las aproximadamente 4 Kcal/g que se obtienen de los carbohidratos y de las proteínas. Esto es debido a que la cadena hidrocarbonada de los ácidos grasos está muy reducida.

- Como los lípidos son muy hidrofóbicos, **se depositan en estado anhidro**. Sin embargo, el glucógeno, forma de almacenamiento de la glucosa es hidrofílico y por tanto, se almacena en forma de gránulos altamente hidratados, que contienen el doble de su peso seco en agua. De ahí que las grasas proporcionen unas seis veces más energía que un peso igual de glucógeno hidratado.

Esta diferencia entre las grasas y los hidratos de carbono es importante en los animales terrestres, ya que el aumento de masa podría afectar a su movilidad.

En los vegetales, **algunas semillas almacenan grandes cantidades de triacilglicéridos** (hasta más del 50 % de su peso total), que serán utilizados durante la germinación. Entre estas semillas están: coco, ricino, girasol, cacahuate, colza, etc. El almacenamiento de triacilglicéridos en vez de carbohidratos en las semillas supone una ventaja evolutiva ya que facilita su dispersión.

b) Aislamiento térmico y físico

En numerosos animales la grasa se acumula en tejidos especiales, como el **tejido adiposo** de los vertebrados. El citoplasma de los adipocitos, que son las células de este tejido, se encuentra prácticamente ocupado por triglicéridos. Al conjunto del depósito se le denomina panículo adiposo y está particularmente desarrollado en los animales que viven en las regiones polares y en los cetáceos (ballenas, orcas, cachalotes y delfines).

Los adipocitos contienen una gran gota de grasa que ocupa casi todo su citoplasma.

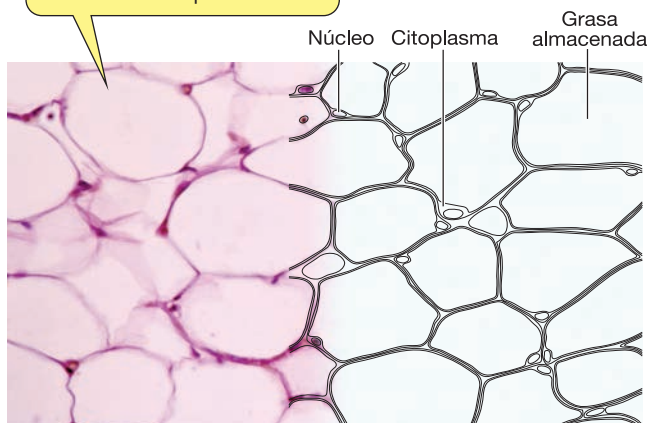


Fig. 3.4. Adipocitos.

4 CERAS

Las ceras son ésteres de ácidos grasos de cadena larga (de 14 a 36 átomos de carbono) con alcoholes también de cadena larga (de 16 a 30 átomos de carbono).

En general son sólidas (poseen puntos de fusión de 60 a 100 °C) y totalmente insolubles en agua.

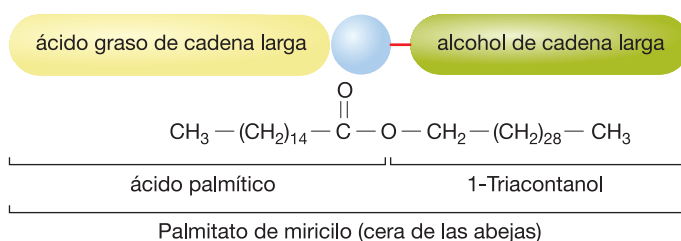


Fig. 4.1. Estructura molecular de una cera.

Función biológica de las ceras

a) Recubrimiento

En los animales las plumas, el pelo y la piel están cubiertos con una capa de cera que los mantiene flexibles, lubricados e impermeables; la cubierta cerosa de las hojas y los frutos de las plantas impide la pérdida de agua y los protege contra los parásitos. Una de las ceras más conocidas es la que segregan las abejas y utilizan para confeccionar su panal. Otros ejemplos son la lanolina o cera protectora de la lana de las ovejas, el cerumen del conducto auditivo externo de ciertos mamíferos, el esperma de las ballenas, etc.

b) Reserva energética

Las ceras son la principal reserva energética de numerosos componentes del placton marino.

Actividades

- Escribe la reacción de hidrólisis de una grasa que tenga un ácido graso saturado y dos insaturados. ¿Qué estado físico cabe esperar que tenga dicha grasa a temperatura ambiente?
- ¿Qué diferencia hay entre la saponificación y la hidrólisis enzimática? Escribe la reacción de saponificación que el NaOH produce sobre la tripalmitina.
- Algunas semillas almacenan triglicéridos como sustancia de reserva en lugar de glúcidos. ¿Podría significar este hecho una adaptación evolutiva?
- ¿Son saponificables las ceras? ¿Cuáles serían los productos de la saponificación de la cera representada en la figura 4.1?

5 LÍPIDOS DE MEMBRANA

Fosfoglicéridos

Los **fosfoglicéridos** son los principales componentes lipídicos de las membranas biológicas. También se denominan **fosfolípidos**.

El más sencillo es el **ácido fosfatídico** que está formado por el glicerol, dos ácidos grasos y el ácido fosfórico (fig. 5.1a).

Los demás fosfoglicéridos tienen un compuesto polar, que contiene por lo menos un grupo amino o un grupo alcohol, unido al ácido fosfatídico. Entre los más importantes están: la **fosfatidilcolina** o **lecitina**, presente en la yema del huevo y en el tejido nervioso, que tiene como compuesto polar a la colina; la **fosfatidiletanolamina** o **cefalina**, presente en el cerebro y cuyo compuesto polar es la etanolamina y la **fosfatidilserina**, que posee el aminoácido serina como compuesto polar (fig. 5.1).

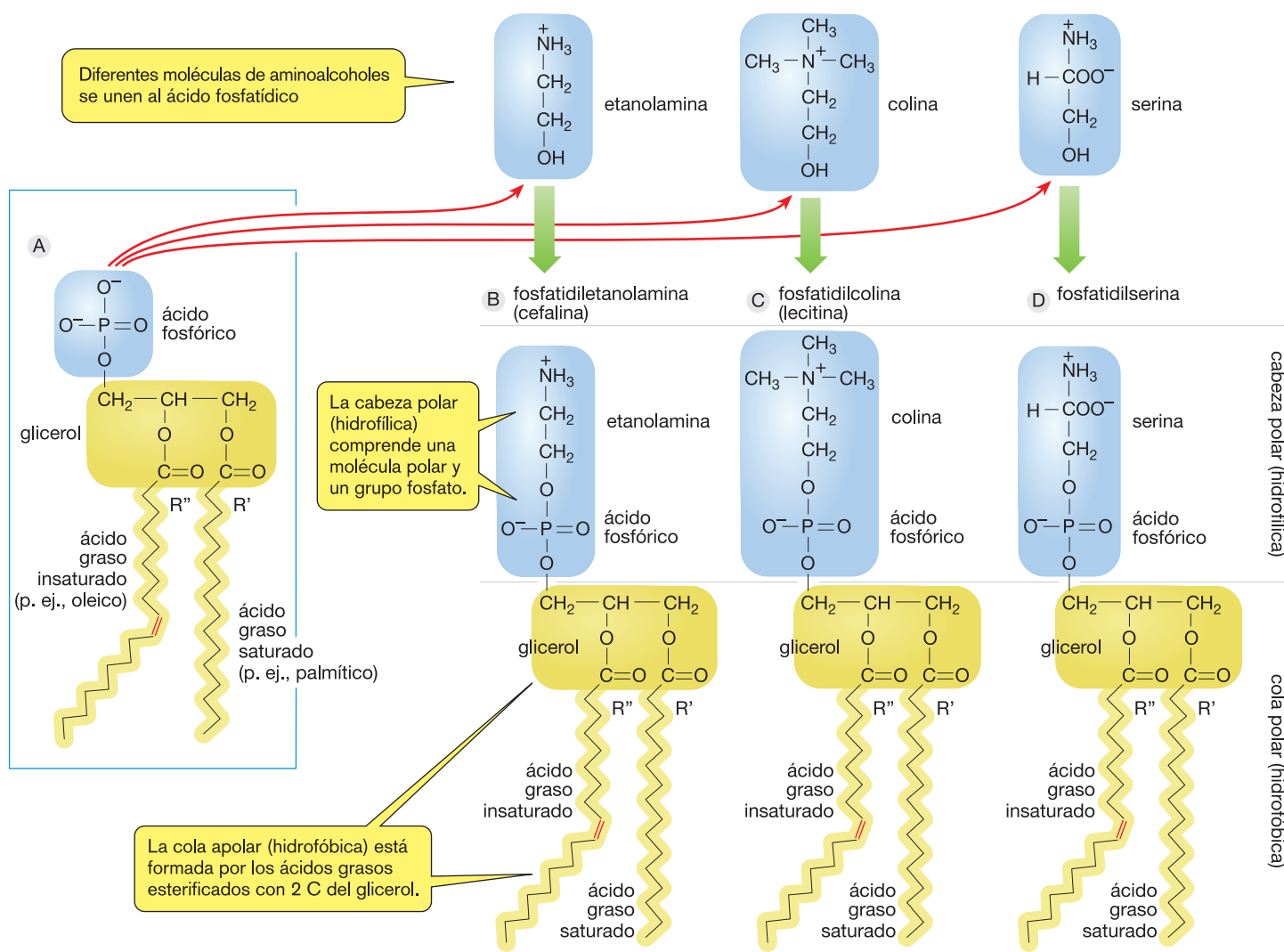


Fig. 5.1. Estructura de los fosfoglicéridos: a) El ácido fosfatídico, el fosfoglicérido más sencillo; b) Cefalina, formada por la unión de ácido fosfatídico y etanolamina; c) Lecitina, formada por la unión de ácido fosfatídico y colina; d) Fosfatidilserina, formada por la unión éster entre el ácido fosfatídico y la serina.

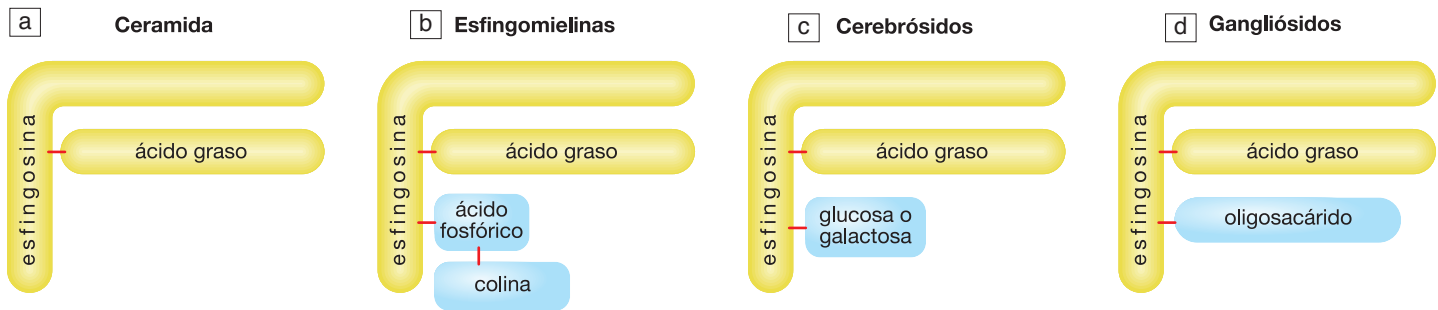


Fig. 5.2. Representación esquemática de a) ceramida; b) esfingomielinas; c) cerebrósidos; d) gangliósidos.

■ Esfingolípidos

Los **esfingolípidos** son también constituyentes de las membranas de las células animales y vegetales, y abundan en el tejido nervioso. Químicamente están formados por tres componentes básicos: una molécula del aminoalcohol de cadena larga: la **esfingosina** (o uno de sus derivados), una molécula de un ácido graso y un grupo de cabeza polar.

La unión entre un ácido graso y la esfingosina, da lugar a una **ceramida** (fig. 5.2 a) que es la unidad estructural de todos los esfingolípidos.

Se distinguen dos tipos de esfingolípidos que se diferencian en los grupos de cabeza polares unidos a la ceramida.

- **Esfingomielinas.** Son ceramidas que tienen como grupo polar la fosfocolina. Se encuentran en cantidades elevadas en la vaina de mielina que aísla los axones de las neuronas (fig. 5.2 b). También son fosfolípidos.

- **Glicolípidos.** Son ceramidas que tienen como grupo polar un glúcido. Si es un monosacárido (glucosa o galactosa) se forman los **cerebrósidos** (fig. 5.2 c) y si es un oligosacárido se forman los **gangliósidos** (fig. 5.2 d).

Los esfingolípidos son semejantes a los fosfoglicéridos tanto estructural como funcionalmente.

■ Función biológica de fosfoglicéridos y esfingolípidos

Los fosfoglicéridos y los esfingolípidos son moléculas anfipáticas ya que tienen dos partes diferentes: una cabeza hidrófila polar y una cola hidrófoba apolar. En un medio acuoso forman espontáneamente bicapas, enfrentando sus extremos apolares y quedando en contacto con el agua sus grupos polares (fig. 5.3).

Las bicapas lipídicas tienden a cerrarse sobre sí mismas, para evitar que en los extremos queden cadenas hidrocarbonadas expuestas al agua, lo que da lugar a la

formación de vesículas (fig.5.3). Por la misma razón, las bicapas lipídicas se autorreparan ya que un orificio en dicha bicapa es energéticamente desfavorable.

Las principales fuerzas que determinan la formación de bicapas lipídicas son las interacciones hidrófobas y las fuerzas de van der Waals entre las colas hidrocarbonadas. Además, se producen interacciones electrostáticas y puentes de hidrógeno, entre los grupos polares de la cabeza y las moléculas de agua.

La función que desempeñan los fosfoglicéridos en los seres vivos es estructural, ya que la bicapa lipídica es la estructura básica de todas las membranas biológicas (véase Tema 7).

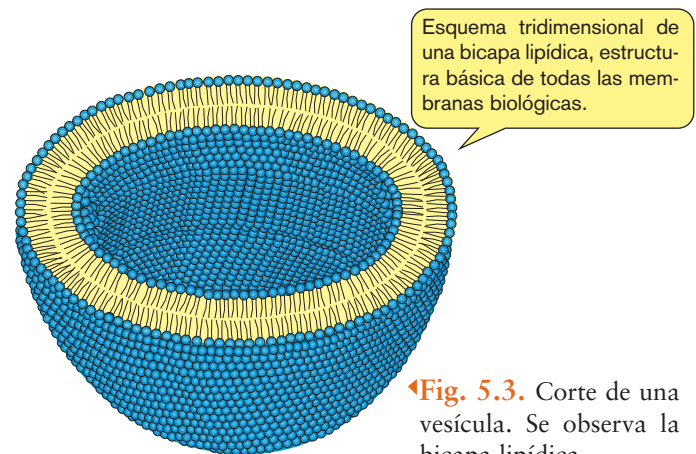


Fig. 5.3. Corte de una vesícula. Se observa la bicapa lipídica.

Actividades

- ¿Qué sustancia está presente en todos los esfingolípidos y ausente en todos los fosfoglicéridos? ¿Qué sustancias aparecen en todos los fosfolípidos y en todos los esfingolípidos? ¿Qué sustancia está presente en todos los fosfoglicéridos y sólo en algunos esfingolípidos?
- ¿Por qué caracterizamos a los fosfoglicéridos y los esfingolípidos como "lípidos de membrana"? ¿Qué propiedades físico-químicas poseen que los hacen idóneos para esa función?

6 LÍPIDOS SIN ÁCIDOS GRASOS

■ Esteroides

Los **esteroides** son derivados del hidrocarburo tetracíclico saturado denominado **esterano** o **ciclopentano perhidrofenantreno** (fig. 6.1). Se diferencian entre sí por el tipo y localización de sus grupos funcionales sustituyentes y por la presencia de dobles enlaces en los anillos.

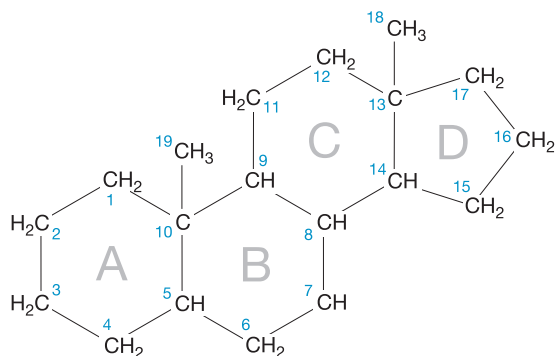


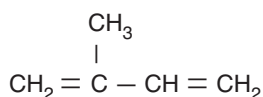
Fig. 6.1. Fórmula del esterano.

Un importante grupo de esteroides son los **esteroles**, que se caracterizan por tener un grupo alcohol (-OH) en el carbono 3 y una cadena hidrocarbonada en el carbono 17. Destaca entre ellos el **colesterol** que se encuentra en la membrana plasmática de las células animales y unido a proteínas en el plasma sanguíneo, y el **estigmasterol** que se encuentra en la membrana de las células vegetales. Las levaduras y hongos presentan **ergosterol** en sus membranas. En general las bacterias carecen de esteroides.

En los animales, el colesterol es el precursor de otros muchos esteroides, entre ellos los ácidos biliares, componentes de la bilis; la vitamina D, que regula el metabolismo del calcio y del fósforo en vertebrados; la hormona sexual masculina testosterona, las femeninas estradiol y progesterona y las hormonas de la corteza suprarrenal cortisol y aldosterona.

■ Isoprenoides

Los **isoprenoides** son polímeros del hidrocarburo de cinco átomos de carbono **isopreno** (2-metil-1,3-butadieno).



Estos lípidos pueden ser moléculas lineales o cíclicas, y algunos presentan estructuras de ambos tipos.

Según el número de isoprenos que constituyen el polímero, los isoprenoides, también denominados **terpenos**, se clasifican en:

- **Monoterpenos**, que contienen dos unidades de isopreno. Poseen olores y sabores característicos y son componentes de los aceites esenciales de muchas plantas. Entre ellos están el geraniol del geranio, el limoneno del limón, el mentol de la menta, etc.
- **Diterpenos**, formados por cuatro unidades de isoprenos. Entre estos destacan el fitol que es un alcohol componente de la clorofila y de las vitaminas liposolubles A, E y K.
- **Triterpenos**, constituidos por seis unidades de isopreno. Entre ellos figura el escualeno que es precursor del colesterol.
- **Tetraterpenos** o **carotenoides**, formados por ocho unidades de isopreno. Los más importantes son las xantofilas y los carotenos que son pigmentos — amarillos y anaranjados— responsables de la coloración de muchos órganos vegetales, como la zanahoria, la naranja, etc. El **β-caroteno** es el precursor de la vitamina A (fig. 6.2).
- **Politerpenos**, constituidos por muchas unidades de isopreno, como por ejemplo el caucho natural.

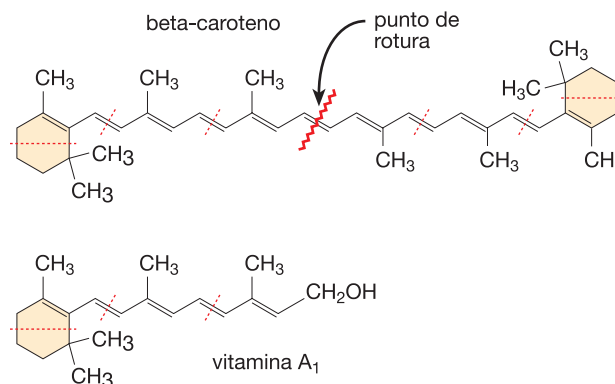
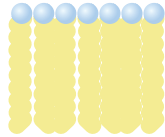
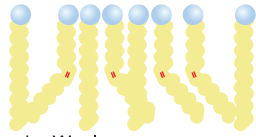
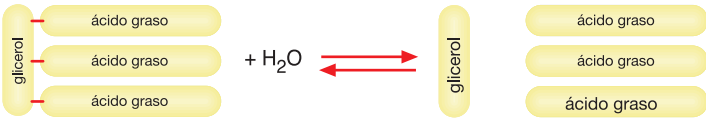

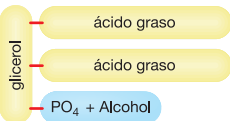
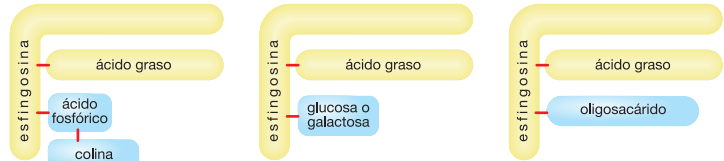
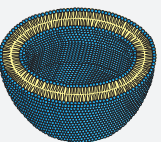
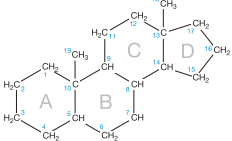
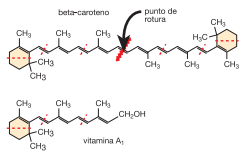


Fig. 6.2. Estructura del β-caroteno. Su rotura produce dos moléculas de vitamina A.

Actividades

- ¿Se pueden saponificar los esteroides? ¿Y los isoprenoides? ¿Por qué?
- Los monoterpenos son sustancias aromáticas. Los politerpenos son prácticamente inodoros. ¿Por qué?

Los lípidos

LÍPIDO	ESTRUCTURA Y PROPIEDADES	FUNCIÓN BIOLÓGICA
<p>Saturados</p> <p>↑</p> <p>Ácidos grasos</p> <p>↓</p> <p>Insaturados</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Cabeza polar y cola recta apolar: anfipáticos · Se empaquetan gracias a enlaces de Van der Waals · Puntos de fusión comparativamente altos   <ul style="list-style-type: none"> · Cabeza polar y cola acodada apolar · Se empaquetan gracias a enlaces de van der Waals pero menos que los insaturados debido a la disposición angular de sus cadenas por la presencia de dobles enlaces · Puntos de fusión comparativamente bajos 	<ul style="list-style-type: none"> · Raramente se encuentran libres. Forman parte de todos los lípidos "saponificables". · Están ausentes de esteroides e isoprenoides
<p>Lípidos simples</p> <p>↑</p> <p>Triacilglicéridos</p> <p>↓</p> <p>Ceras</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Ésteres de la glicerina y tres ácidos grasos · Apolares · Baja densidad · Hidrólisis enzimática y química · Reaccionan con bases fuertes: saponificación  $ \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}' \\ \\ \text{CH}-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}'' \\ \\ \text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}''' \end{array} + \text{H}_2\text{O} \xrightarrow{3 \text{ KOH}} \begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{OH} \\ \\ \text{CH}-\text{OH} \\ \\ \text{CH}_2-\text{OH} \end{array} + \begin{array}{c} \text{R}'-\text{C}(=\text{O})-\text{O}^- \text{K}^+ \\ \text{R}''-\text{C}(=\text{O})-\text{O}^- \text{K}^+ \\ \text{R}'''-\text{C}(=\text{O})-\text{O}^- \text{K}^+ \end{array} $ <p>Triacilglicérido Glicerol Jabones</p> <ul style="list-style-type: none"> · Ésteres de alcoholes con ácidos grasos, ambos de elevado peso molecular · Apolares · Baja densidad · Saponificables 	<ul style="list-style-type: none"> · Principal reserva energética de animales · Abundan en semillas y en algunos frutos · Proporcionan aislamiento térmico y mecánico
<p>Lípidos complejos</p> <p>↑</p> <p>Fosfoglicéridos</p> <p>↓</p> <p>Esfingolípidos</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Anfipáticos · Ésteres de glicerol con 2 moléculas de ácidos grasos (C2 y C3) y con fosfato + aminoalcohol (C1) · Saponificables · Forman bicapas espontáneamente  <ul style="list-style-type: none"> · Anfipáticos · Ésteres de la esfingosina con un ácido graso y con otras sustancias · Saponificables · Forman bicapas espontáneamente 	<ul style="list-style-type: none"> · Son constituyentes esenciales de la membrana plasmática  <ul style="list-style-type: none"> · Son constituyentes esenciales de la membrana plasmática · Abundan en las del sistema nervioso
<p>Lípidos sin ácidos grasos</p> <p>↑</p> <p>Isoprenoides</p> <p>↓</p> <p>Esteroides</p>	<ul style="list-style-type: none"> · Derivados del isopreno · Apolares · No saponificables  <ul style="list-style-type: none"> · Derivados del ciclopentano perhidrofenantreno · Apolares · No saponificables 	<ul style="list-style-type: none"> · Vitaminas (A, E, K), caucho, aceites esenciales (geraniol, mentol), precursores de esteroides, etc. · Vitamina D, Hormonas (sexuales, corticosteroides), Componentes de membrana (colesterol, estigmasterol)

1 Define los siguientes conceptos: lípido, molécula anfipática, cadena saturada, cadena insaturada, micela, bicapa, grasa natural, esfingolípidio.

2 Relaciona los elementos de la tabla indicando la correspondencia entre letras y números

1. Esteroides
2. Diterpeno
3. Saponificación
4. Cera
5. Esfingolípidio
6. Ceramida
7. Estradiol

- a. Vitamina K
- b. Hidrólisis alcalina de una grasa simple
- c. Ester de un ácido graso con un alcohol, ambos de elevado peso molecular
- d. Lípido abundante en las membranas de células del sistema nervioso
- e. Derivado del ciclopentano perhidrofenantreno.
- f. Deriva de la misma molécula que el colesterol
- g. Componente de los esfingolípidos

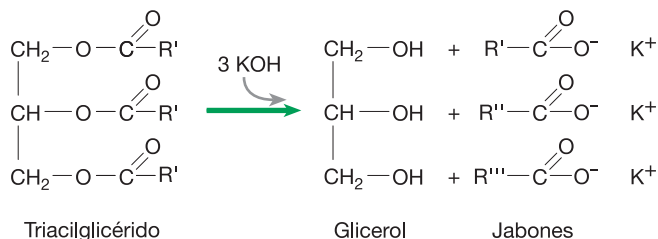
3 Señala si son ciertas o falsas las siguientes afirmaciones, corrigiendo estas últimas y añadiendo las respuestas correctas:

- a) Los triglicéridos son lípidos de membrana.
- b) Los ácidos grasos libres son los lípidos más abundantes.
- c) La vitamina D es un esteroide.
- d) Los lípidos tienen C, H y O pero nunca N ni P.

4 Escribe la reacción de hidrólisis enzimática de un triacilglicérido.

5 Escribe la reacción de síntesis de un triacilglicérido formado por glicerol, ácido láurico y ácido mirístico (dos moléculas). ¿Se obtiene una molécula o pueden obtenerse varias? ¿Por qué?

6 Identifica la reacción química adjunta. ¿Tiene lugar en los seres vivos? Indica el nombre de los sustratos y los productos que intervienen en la reacción.



7 Diógenes Higiénico tiene sobre su lavabo tres sustancias para lavarse las manos: tripalmitina, palmitato sódico e hidróxido de sodio. ¿Cuál de ellas es la indicada para lavarse correctamente? ¿Qué hace desaconsejables para ese fin las otras dos?

8 Dibuja una tabla semejante a la adjunta y rellénala en tu cuaderno de clase.

Sustancias	Componentes comunes
Trioleína y tripalmitina	
Esfingomielina y Ácido linoleico	
Vitamina A y β-caroteno	

9 Busca información en la red acerca del colesterol. Averigua la diferencia entre el HDL y LDL. ¿Qué son las placas de ateroma? ¿Dónde se forman?

10 En un laboratorio de Biotecnología dispongo de varios ácidos grasos para fabricar películas superficiales de recubrimiento de agua. Los ácidos son láurico, lignocérico, y araquidónico. Indicar que ácido o ácidos grasos debo utilizar para fabricar películas que tengan las siguientes características:

- a) alto grado de empaquetamiento y temperatura de solidificación en torno a 44 °C.
- b) alto grado de empaquetamiento y temperatura de fusión superior a los 80 °C.
- c) bajo grado de empaquetamiento. Es indiferente la temperatura de fusión.
- d) temperatura de solidificación entre -48 °C y -50 °C.

11 Mediante una hidrólisis controlada descompongo una serie de sustancias A, B, C y D. Indicar de qué sustancia se trata.

Sustancia hidrolizada	Productos de hidrólisis
A	Ácidos grasos y glicerol
B	Ácidos grasos, glicerol y ácido fosfórico
C	Esfingosina, ácido esteárico y glucosa
D	Glicerol, un aminoalcohol, ácido fosfórico y ácidos grasos

12 El Charrán ártico es un ave que recorre 40 000 km al año sumando los dos desplazamientos estacionales del polo norte al polo sur antes del invierno ártico y del polo sur al polo norte antes del invierno austral. ¿Qué sustancias de reserva utiliza para realizar tamaños desplazamientos? ¿Qué características fisicoquímicas presentan dichas sustancias que las hacen idóneas para ese viaje?

13 Con fundamento se afirma que inhalar pegamento, entre otras calamidades, es nefasto para el sistema nervioso. ¿Qué propiedad de los lípidos explica lo que afirmamos?

14 Sintetizar el β-caroteno a partir del isopreno.

La sustancia blanca

Marian D. Diamond, de la Universidad de California, que examinó cortes del cerebro de Albert Einstein no encontró nada especial en el número o tamaño de sus neuronas, pero sí que localizó en el cortex de asociación, responsable de la cognición, un elevadísimo número de células gliales superior en promedio a otras regiones de ese cerebro.

Dentro de las células gliales nos fijaremos en dos tipos: los **oligodendrocitos**, del sistema nervioso central (cerebro y médula) y las **células de Schwann** del sistema nervioso periférico. Ambos tipos de células son las responsables de depositar alrededor de los axones de las neuronas una vaina blanquecina conocida como **vaina de mielina**. Esta vaina está formada por un enrollamiento de la membrana plasmática de aquellas células alrededor del axón, que puede tener hasta 150 vueltas. Las vainas se interrumpen en los nódulos de Ranvier.

La mielina está constituida por bicapas lipoproteicas en las cuales los lípidos dominantes son los **esfingolípidos**. Por su coloración se denomina "sustancia blanca" en oposición a las masas grises del sistema nervioso desprovistas de mielina.

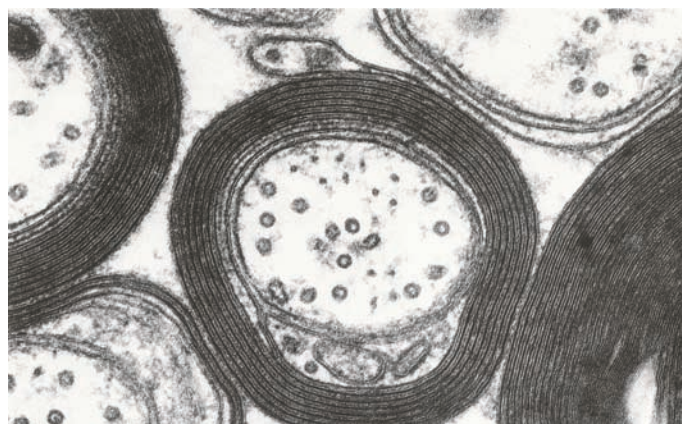
La mielinización (formación de las vainas) progresa con la edad desde el nacimiento hasta los 30 años. Desde esa edad avanza de la parte posterior del cerebro a la anterior.

Hasta no hace mucho se asignaba a la mielina exclusivamente un papel aislante y de aceleración: la conducción nerviosa en esas fibras salta de un nódulo de Ranvier a otro por lo que es de 5 a 10 veces más rápida que en una fibra sin mielina.

Nuevas investigaciones revelan que la cantidad de mielina varía de un individuo a otro en función de sus experiencias. Más aún, experimenta cambios en sujetos que aprenden o practican habilidades: en los pianistas profesionales, la sustancia blanca se desarrolla mucho en aquellas zonas cerebrales que relacionan el movimiento de los dedos con las que operan procesos cognitivos necesarios para interpretar música.

Abundando en esta línea se ha encontrado una relación directa entre el desarrollo de la sustancia blanca y el coeficiente intelectual de los adolescentes, y que los niños desatendidos tienen menos mielina que los que reciben una atención mejor.

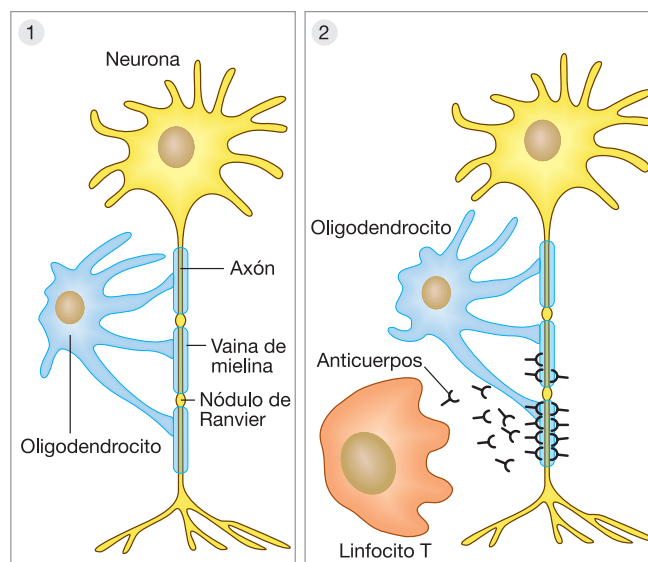
En definitiva cada vez hay más pruebas de **la mielina acumulada refuerza el aprendizaje y mejora las destrezas**. Parece razonable que dado el papel de las neuronas en el aprendizaje cognitivo, el aprendizaje global implica una interacción entre neuronas y glías.



Mielina y patología

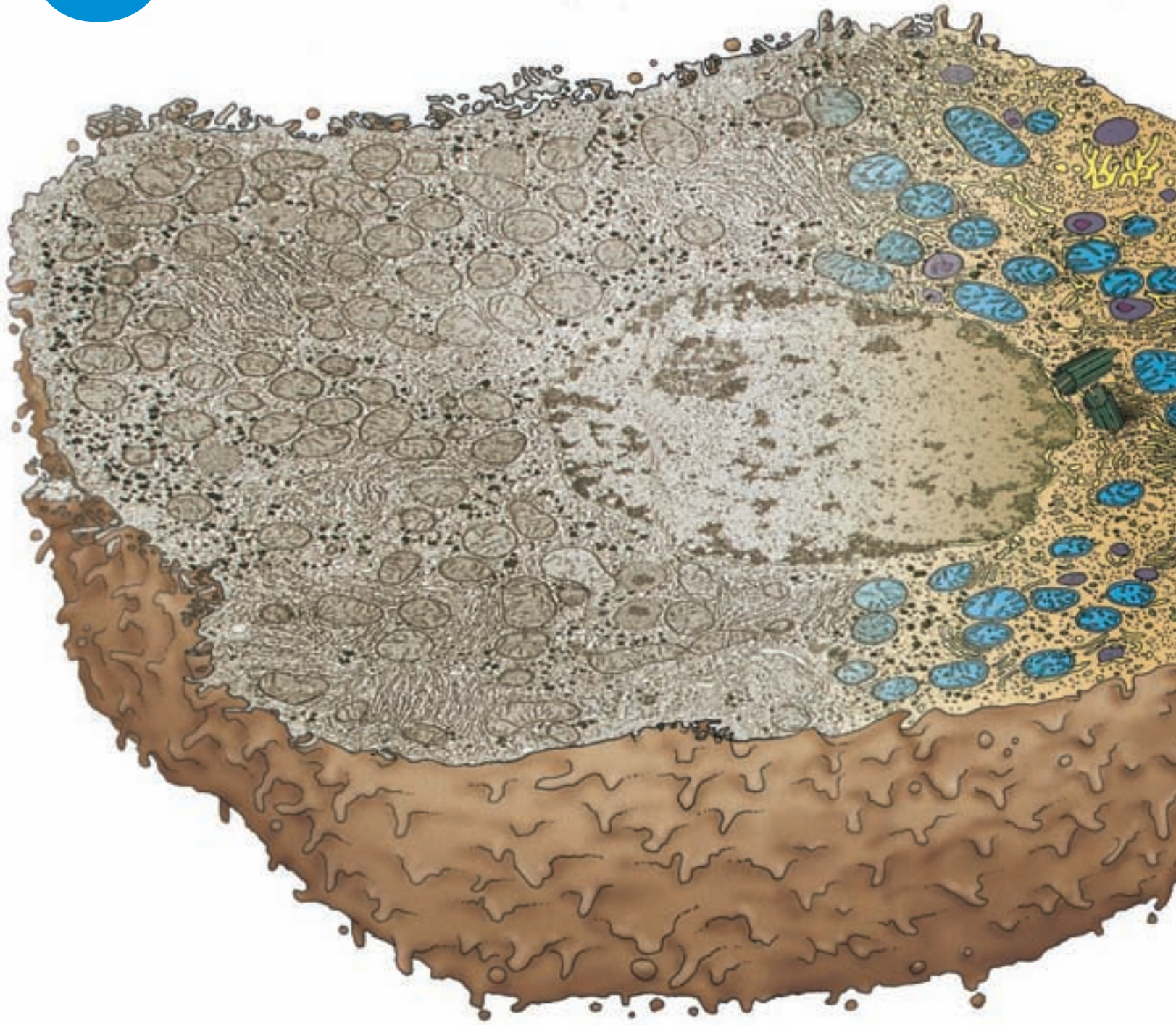
La mielina está relacionada con algunas disfunciones y patologías: la dislexia, la amusia y la esquizofrenia van acompañadas de anomalías y deficiencia en la sustancia blanca. También se han encontrado anomalías y escasez de mielina en personas con déficit de atención, hiperactividad, trastorno bipolar y algunas otras.

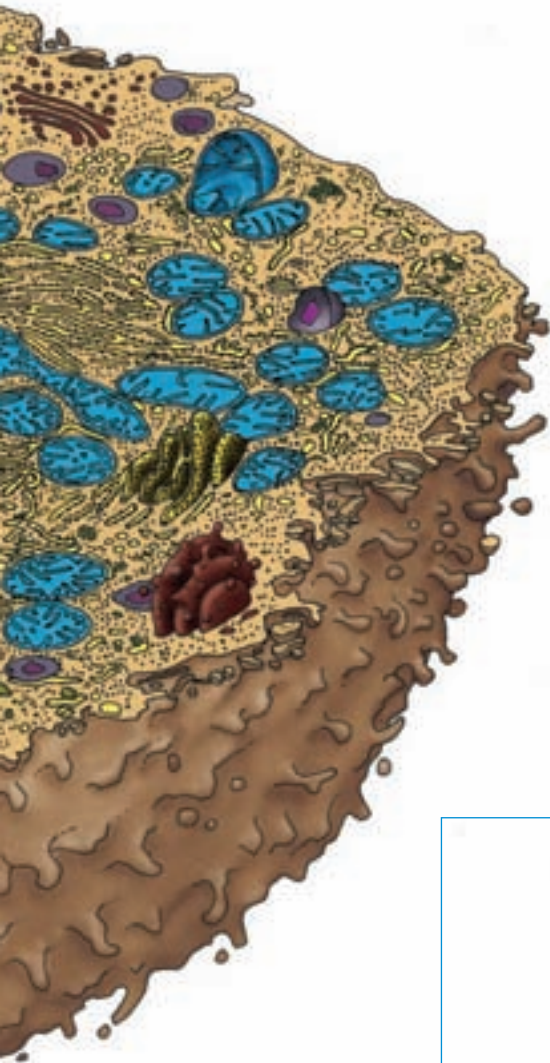
Una enfermedad desmielinizante (que elimina la mielina) típica es la **esclerosis múltiple**, desencadenada por una respuesta autoinmune que hace que el propio sistema inmunitario ataque y destruya las vainas de mielina lo que puede llevar a la destrucción del axón. Esta enfermedad tiene una incidencia de 1/1000 en la población y se manifiesta entre los 20 y 40 años de edad. Aunque puede tener un desarrollo grave, la evolución clínica adopta formas muy diferentes. El tratamiento con interferón es una terapia que está produciendo buenos resultados, cuando nuevos tratamientos y fármacos se anuncian en el horizonte terapéutico.



6

INTRODUCCIÓN A LA CÉLULA





Con frecuencia la Ciencia y la Técnica van de la mano en el progreso del conocimiento científico. Esto es particularmente cierto en el estudio de la célula.

Casi todos los avances científicos han sido el resultado de nuevos descubrimientos técnicos, pero sobre todo ha sido así en lo referente al conocimiento de la célula.

Las células son muy pequeñas y además complejas, de ahí que resulte difícil tanto observarlas como determinar sus características: composición química, funciones de sus componentes, etc. El estudio de la célula depende pues de los instrumentos de trabajo que se puedan utilizar. De hecho, los mayores avances en la biología celular han sido el resultado del descubrimiento de nuevas herramientas y métodos de estudio.

Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), excelente microscopista, fue el primero que observó células vivas: espermatozoides, células sanguíneas, protozoos e incluso bacterias. Sin embargo, ni él ni sus contemporáneos comprendieron el significado de tales observaciones. El estudio científico de la célula no se inició hasta comienzos del siglo XIX, cuando gracias a la mejora de su calidad, los microscopios se convirtieron en instrumentos útiles e imprescindibles para la investigación.

En pocos años se desarrolló entonces la «teoría celular», una de las generalizaciones más importantes del pensamiento biológico. Dicha teoría marca el nacimiento de la biología celular.

- 1 Teoría celular: Introducción histórica**
- 2 Métodos de estudio morfológicos de la célula**
- 3 Estudio bioquímico de la célula**
- 4 Tipos de organización celular**
- 5 Introducción al estudio de la célula eucariótica**
- 6 El paso de las células procarióticas a las eucarióticas**
- 7 Diferencias entre células procarióticas y eucarióticas**

Resumen

Actividades

Ciencia y sociedad

El plancton bacteriano de los océanos

1 TEORÍA CELULAR: INTRODUCCIÓN HISTÓRICA

La célula es el conjunto de materia más simple que puede vivir y hacer copias de sí misma. Está rodeada de una membrana que contiene una solución acuosa concentrada de sustancias químicas.

A la teoría celular se llegó gracias a una serie de descubrimientos científicos que fueron ligados a la mejora de la calidad de los microscopios.

En 1665, el inglés Robert **Hooke**, examinando al microscopio una laminilla de corcho, observó que estaba formada por pequeñas cavidades poliédricas a las que denominó **células**, que significa "celdillas". Por esta circunstancia se viene considerando a Hooke como el descubridor de la célula.

Antony Van Leeuwenhoek (1632-1723), contemporáneo de Hooke, realizó detalladas observaciones de células animales y vegetales e incluso descubrió el mundo de los microorganismos, protozoos y bacterias, utilizando un microscopio simple (de una sola lente) construido por él (fig.1.1).



Fig. 1.1. Los primeros microscopios ópticos simples (de una sola lente). a) El fabricado por Leeuwenhoek en el siglo XVII. b) Pequeño microscopio óptico del siglo XIX que fue utilizado por Robert Brown. Mide 7,6 cm y entre los accesorios hay una lente de 800 aumentos.

Pero hasta que no se dispuso de buenos microscopios ópticos, a principios del siglo XIX, no se descubrió que todos los seres vivos, tanto animales como vegetales, están formados por células. Este principio es el que desarrolla la **teoría celular** que se atribuye al botánico Matthias **Schleiden** (1838) y al zoólogo Theodor **Schwann** (1839). Por tanto, de acuerdo con la teoría celular podemos concluir que: "la célula es la unidad estructural y funcional de los seres vivos", de tal manera que la actividad vital de éstos es el resultado de la suma de las actividades de todas sus células, entre las cuales existe una coordinación.

Otros científicos que merecen ser citados son el botánico **Brown** que, en 1831, descubre el **núcleo** y el fisiólogo **Purkinje** que, en 1839, introduce el término de **protoplasma** para designar el líquido que llena la célula. De esta forma, el concepto de célula iniciado por Hooke con la observación de las paredes celulares del corcho, acaba teniendo una significación completamente diferente al centrarse sobre el contenido.

■ Los principios de la teoría celular

La teoría celular quedó definida por los siguientes principios:

- Los seres vivos están formados por una sola célula, unicelulares, o por varias, pluricelulares.
- La célula es la unidad estructural y funcional de los seres vivos.
- Las células son las formas más elementales de vida que presentan todas las funciones propias de un ser vivo, o lo que es lo mismo las células poseen una individualidad propia que les caracteriza como unidades vitales.

En 1858, **Virchow** completó la teoría celular con su célebre principio "**omnis cellula ex cellula**", es decir, toda célula proviene de otra célula.

En 1880, August **Weismann** amplió la afirmación de Virchow desde un punto de vista evolutivo resaltando que: hay una continuidad ininterrumpida entre las células actuales (y los organismos que ellas componen) y las células primitivas que aparecieron por primera vez sobre la Tierra hace 3.500 millones de años.

Actividades

- ¿Qué diferencia hay entre las células observadas por Hooke y por su contemporáneo Leeuwenhoek?
- Cuando Robert Hooke examinó al microscopio una laminilla de corcho, ¿qué parte de las células es la que observó?
- ¿Qué importancia tienen los descubrimientos de Brown y Purkinje?

2 MÉTODOS DE ESTUDIO MORFOLÓGICOS DE LA CÉLULA

Desde la segunda mitad del siglo XVII en que Hooke y Leeuwenhook realizaron las primeras observaciones de células al microscopio, se ha avanzado mucho en el conocimiento de la morfología y fisiología celular. Ello ha sido posible gracias a la ayuda de una serie de métodos de trabajo cada vez más precisos y específicos.

■ Microscopía óptica

Salvo algunas excepciones, la mayor parte de las células sólo pueden verse con ayuda de un microscopio. Por ello, el conocimiento de la célula empezó con la **microscopía óptica**, la cual todavía hoy día es un instrumento esencial, junto con la **microscopía electrónica** mucho más reciente.

En 1590, el holandés **Janssen** utilizó un sistema de dos lentes de cristal y luz visible para ampliar imágenes y construyó el **primer microscopio óptico compuesto**. Este instrumento, básicamente, consiste en un tubo provisto de **dos lentes** (una en cada extremo) que amplían sucesivamente la imagen del objeto, el cual debe estar bien iluminado. Una de las dos lentes, llamada **objetivo**, se coloca muy cerca del objeto a observar y su efecto es una imagen invertida y aumentada; el segundo juego de lentes, llamado lente **ocular**, se coloca a una distancia tal que su efecto sea el aumento del tamaño de la imagen invertida, multiplicando así el efecto de la lente objetivo. Se puede mejorar el microscopio añadiendo **lentes intermedias** y otros dispositivos como el **condensador** (concentra la luz emitida por una fuente luminosa sobre el objeto), **filtros**, etc. (fig. 2.1).



◀ Fig. 2.1. Microscopio óptico

A finales del siglo XIX, se avanzó mucho en el conocimiento de las características internas de las células gracias al empleo de colorantes, que proporcionan el contraste suficiente para hacer visibles las estructuras celulares. Hay que tener en cuenta que **la microscopía depende tanto de las técnicas para la preparación de las muestras como del rendimiento del propio microscopio**.

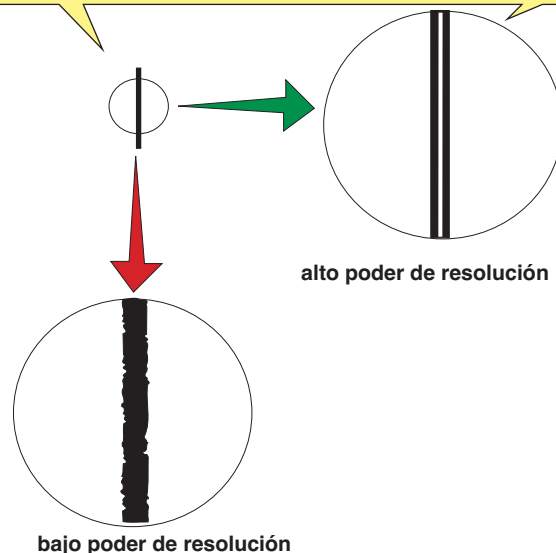
■ El poder de resolución

El perfeccionamiento del microscopio óptico tenía como límite el llamado **poder de resolución**, es decir, la distancia mínima a la que pueden estar dos puntos para que los veamos separados. Este límite **depende de la longitud de onda de la luz con que se ilumina el objeto**. Para los microscopios ópticos que trabajan con luz visible, la resolución máxima que se puede obtener es de $0.2 \mu\text{m}$ (1000 veces superior al poder de resolución del ojo humano).

El ojo humano tiene un poder de resolución de cerca de $0,2 \text{ mm}$ ó $200 \mu\text{m}$. Esto significa que si observamos dos líneas separadas entre sí por menos de $200 \mu\text{m}$, las veremos como una sola. De manera similar, dos puntos separados por menos de $200 \mu\text{m}$ aparecerán, a simple vista, como uno solo.

El problema del poder de resolución es teóricamente distinto al del aumento. Así, aunque es posible agrandar una imagen, tanto como se desee, proyectándola, por ejemplo, sobre una pantalla, jamás lograremos diferenciar al microscopio óptico dos objetos que estén separados menos de $0.2 \mu\text{m}$; dichos objetos se verán como uno solo (fig. 2.2).

Lo que a simple vista es una línea fina, con un microscopio óptico de bajo poder de resolución aparece como una línea más gruesa de contornos difusos; con mayor poder de resolución resulta ser una línea doble de contornos bien definidos.



▲ Fig. 2.2. Poder de resolución.

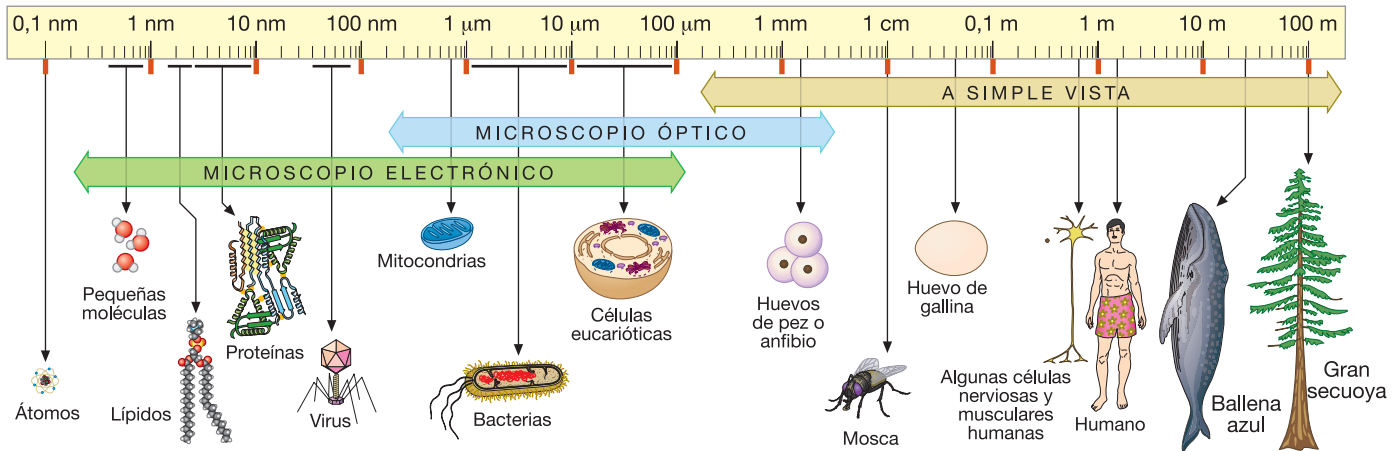


Fig. 2.3. Escala que indica los tamaños relativos de los organismos pluricelulares, las células y las moléculas. $1 \text{ m} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \text{ } \mu\text{m} = 10^9 \text{ nm}$

■ La manipulación de las muestras para microscopía óptica

La observación de células y tejidos al microscopio óptico requiere que las muestras se dejen atravesar por la luz lo que obliga a la **realización de cortes finos**. Además, para examinar los orgánulos celulares, que generalmente son transparentes, es necesario que exista un contraste óptico entre ellos, lo que se consigue mediante el **empleo de colorantes**.

Al microscopio óptico se pueden hacer **observaciones de células vivas**, o de células muertas fijadas y coloreadas.

Observación de células vivas

Se pueden observar células vivas sin someterlas a ningún tipo de manipulación, manteniéndolas durante su estudio en un medio adecuado. Más frecuentemente se requiere el empleo de **colorantes vitales** que no dañan a las células y permiten visualizar algunas de sus estructuras; entre dichos colorantes están el azul de metileno, el verde Jano, el rojo neutro, etc.

Observación de células muertas

En la mayoría de los casos se trabaja con preparaciones permanentes. Para ello, **en primer lugar las células han de ser tratadas con un fijador** que las inmovilice y las mate.

Los **fijadores** son productos químicos capaces de penetrar rápidamente en las células sin alterar morfológicamente sus estructuras. Podemos citar entre los más usados el formaldehído o formol, etanol y ácido acético.

Después de la fijación, **los tejidos deben ser cortados en finas secciones** con un **microtomo**, máquina que tiene una cuchilla de metal muy afilada y que funciona de forma parecida a un cortafiambres (fig. 2.4). Dado que generalmente los tejidos son blandos y frágiles, antes de la obten-



Fig. 2.4. Microtomos de inclusión en parafina.

ción de los cortes **es necesario incluirlos en un medio de soporte para endurecerlos**; el medio más usado es la parafina. En algunos casos, la muestra se endurece por congelación y se corta con un microtomo especial.

El paso siguiente al de obtención de los cortes es la **tinción**, para lo cual se utilizan **colorantes** que se fijan selectivamente sobre los diferentes orgánulos celulares (fig. 2.5). Para ser observadas al microscopio, las secciones teñidas se colocan sobre un portaobjetos cubiertas con un cubreobjetos.

Muchas veces al someter a las células a estos procesos, se introducen, sin querer diversos "artefactos" que, de alguna manera, pueden falsear los resultados obtenidos.

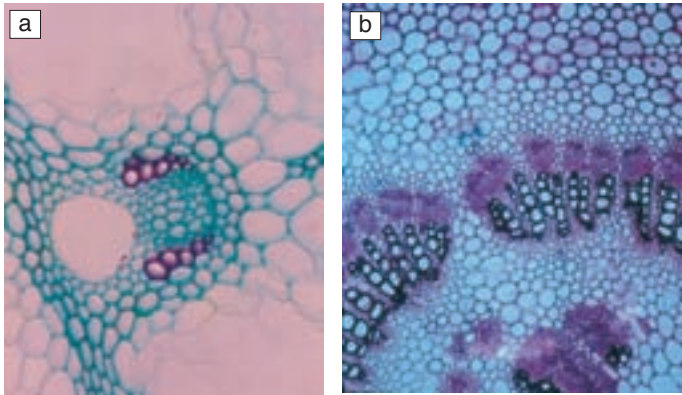


Fig. 2.5. Imágenes de células vegetales análogas que se han teñido con colorantes distintos. a) Safranina y verde rápido. b) Violeta de genciana.

Entre los colorantes más usados podemos citar: azul de metileno (básico), violeta de genciana, hematoxilina (básico), eosina (ácido), verde brillante, fuchsin básica, solución de lugol (para evidenciar gránulos de almidón), safranina, verde rápido.... Los colorantes ácidos tiñen las partes básicas de la célula y los colorantes básicos tiñen las partes de carácter ácido.

Tipos de microscopios ópticos

Actualmente existen **microscopios ópticos complejos** que permiten visualizar estructuras en células vivas sin necesidad de ningún tipo de manipulación. Se trata de los microscopios de contraste de fases, de contraste de fases interferencial y de campo oscuro. Una de las principales ventajas de estos microscopios es que se pueden observar las células en acción y estudiar los movimientos intracelulares que se producen en procesos tales como la mitosis.

Otro tipo de microscopio es el **de fluorescencia** que permite localizar moléculas específicas en las células utilizando para ello colorantes fluorescentes.

Microscopía electrónica

En 1931 se construyó el primer microscopio electrónico que utiliza como fuente de "iluminación" un haz de electrones en vez de rayos de luz visible. Con estos microscopios se consigue una resolución normal para los objetos biológicos de unos 0.2 nm, o sea, unas 1000 veces mayor a la resolución del microscopio óptico.

El **microscopio electrónico de transmisión** es, en rasgos generales, similar al microscopio óptico pero de mayor tamaño e invertido (fig. 2.6 y 2.7). Esta formado por una columna o tubo en la que se hace el vacío y que tiene un cátodo en su parte superior que emite electrones. Éstos son

concentrados sobre el plano donde se dispone la muestra mediante un electroimán que hace las veces de condensador. Después el haz electrónico pasa a través de la muestra y a continuación dos electroimanes que funcionan como lentes dan una imagen agrandada del objeto, que se proyecta para su observación sobre una pantalla fluorescente (como un monitor de televisión) o una placa fotográfica (fig. 2.6 y 2.7). Las áreas o partes de la muestra que son más "transparentes" a los electrones aparecen de color brillante, mientras que las que son más "opacas" y absorben los electrones aparecen oscuras.

Los materiales que se observan han de ser sometidos a una serie de manipulaciones: **fijación**, **inclusión** en resinas duras para poder hacer **secciones ultrafinas** de las células o tejidos utilizando microtomos especiales (ultramicrotomos), **tinción**, etc.

En el **microscopio electrónico tridimensional o de barrido** los electrones no atraviesan la muestra, que está recubierta por una finísima capa de un metal pesado. En este caso, un haz de electrones muy estrecho es dirigido hacia la superficie de la muestra y ésta emite unos electrones secundarios que son los que se detectan en la pantalla. Las imágenes así obtenidas permiten visualizar la superficie tridimensional del material observado (figs. 2.6 y 2.7).



Fig. 2.6. Microscopio electrónico.

Actividades

- a) ¿Por qué se pueden ver más detalles de las estructuras celulares en las imágenes obtenidas con el microscopio electrónico que en imágenes muy ampliadas usando el microscopio óptico?

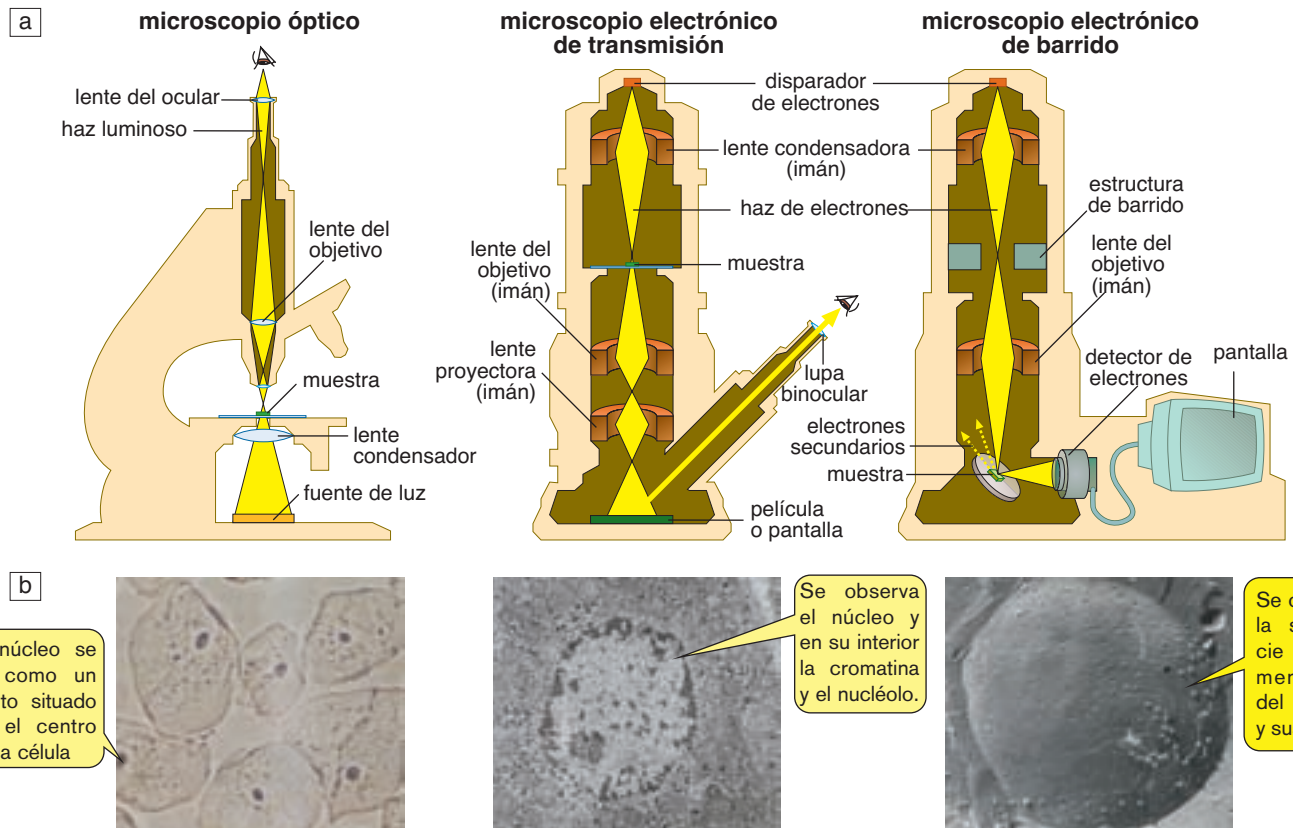


Fig. 2.7. a) Esquema de un microscopio óptico, de un microscopio electrónico de transmisión y de un microscopio electrónico de barrido. b) Imágenes de células vistas con cada uno de los microscopios anteriores.

3 ESTUDIO BIOQUÍMICO DE LA CÉLULA

Para conocer la composición y la función de los orgánulos y otros componentes celulares se separan, en primer lugar, las diferentes estructuras de la célula y después se estudian mediante métodos bioquímicos y métodos mixtos, microscópico-bioquímicos.

■ Fraccionamiento celular

Se trata de un método de **aislamiento y separación de los orgánulos celulares**, con objeto de estudiarlos después independientemente.

Para ello se siguen los siguientes pasos (fig. 3.1):

Se realiza un **homogeneizado** del tejido a estudiar mediante tratamientos químicos o físicos que rompan las células, como por ejemplo, choque osmótico o trituración. Este proceso debe hacerse con la mayor suavidad posible con el fin de que se rompa la membrana plasmá-

tica pero queden intactos orgánulos tales como el núcleo, las mitocondrias, los lisosomas, los peroxisomas y el complejo de Golgi. El homogeneizado se disuelve en una solución salina o de azúcar (normalmente sacarosa).

A continuación, se separan los diferentes componentes del homogeneizado, mediante un instrumento llamado **ultracentrífuga**, que puede hacer girar los tubos de ensayo a diferentes velocidades (fig. 3.1a). La fuerza centrífuga separa los componentes celulares **en función de su densidad, su forma y su tamaño**. Primero el homogeneizado se somete a centrifugación a baja velocidad separándose los orgánulos más densos (núcleos) en el precipitado y los menos densos en el sobrenadante (mitocondrias, ribosomas...); el sobrenadante se decanta para ser sometido de nuevo a centrifugación a mayor velocidad y así sucesivamente se obtienen una serie de fracciones en los diversos precipitados, que contienen los distintos orgánulos celulares (fig. 3.1b).

Para saber que orgánulos tiene cada precipitado, se utiliza el microscopio electrónico.

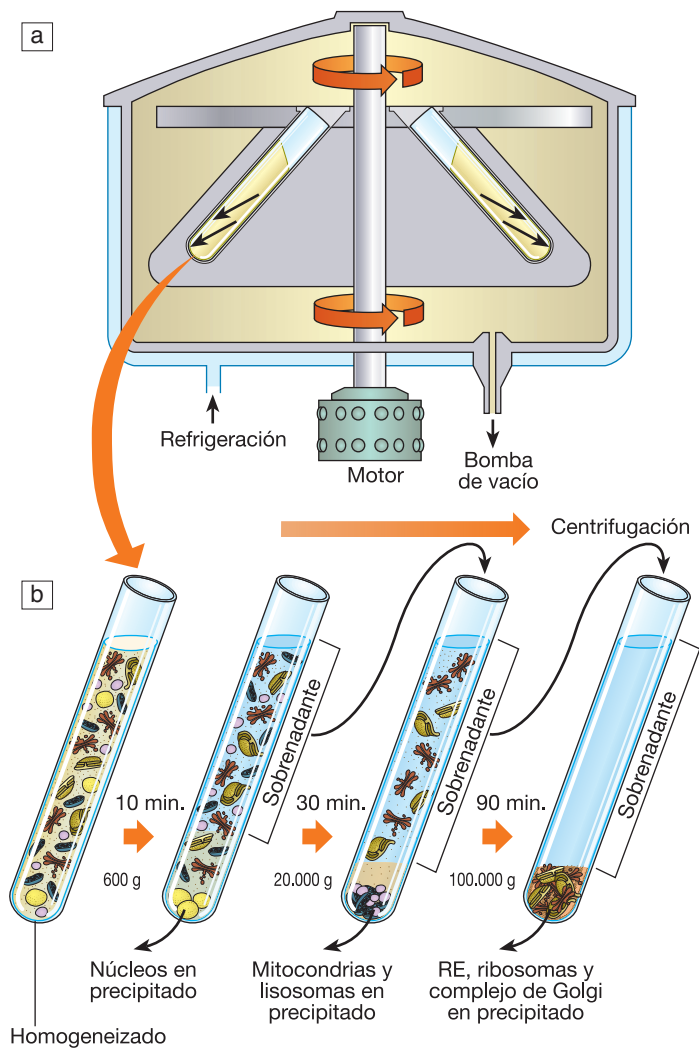


Fig. 3.1. a) Ultracentrifuga. b) Esquema del fraccionamiento celular.

■ Autorradiografía

Cualquier molécula puede “marcarse” incorporándole uno o más isótopos radiactivos. La radiación que emiten los núcleos de dichos átomos permite detectar la molécula marcada y seguir sus movimientos. Así, si se introduce en una célula un compuesto orgánico que contenga átomos radiactivos, se puede seguir su paso a través de los orgánulos celulares y estudiar sus funciones. Entre los isótopos radiactivos usados en biología están: ^{14}C , ^3H , ^{32}P y ^{35}S .

La técnica, denominada **autorradiografía**, se utiliza para localizar las sustancias marcadas radiactivamente en secciones de células enteras o de tejidos, aunque más que la localización estática de un compuesto lo que interesa son sus desplazamientos a nivel intracelular y tisular.

El proceso consiste en lo siguiente: las células vivas se exponen a un compuesto radiactivo parte del cual es absorbido y fijado por ellos. Transcurrido un tiempo, generalmente breve, el compuesto radiactivo sobrante se elimina del medio. Las células así marcadas se fijan sobre un porta, se recubren con una fina capa de una emulsión fotográfica y se dejan en la oscuridad durante unos días, tras los cuales se revela la emulsión y se observa al microscopio. La radiactividad emitida impresiona la placa fotográfica, por lo que al revelar la película aparecen manchas oscuras que determinan la posición de la sustancia marcada (fig. 3.2).

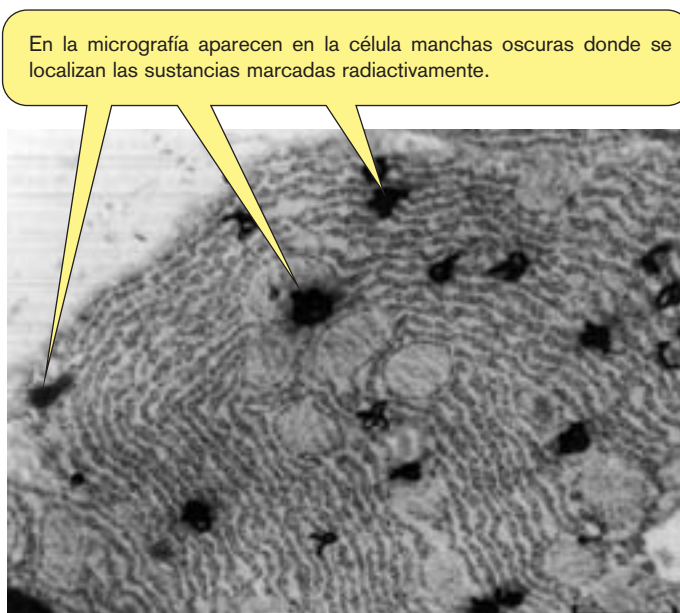


Fig. 3.2. Autorradiografía.

Actividades

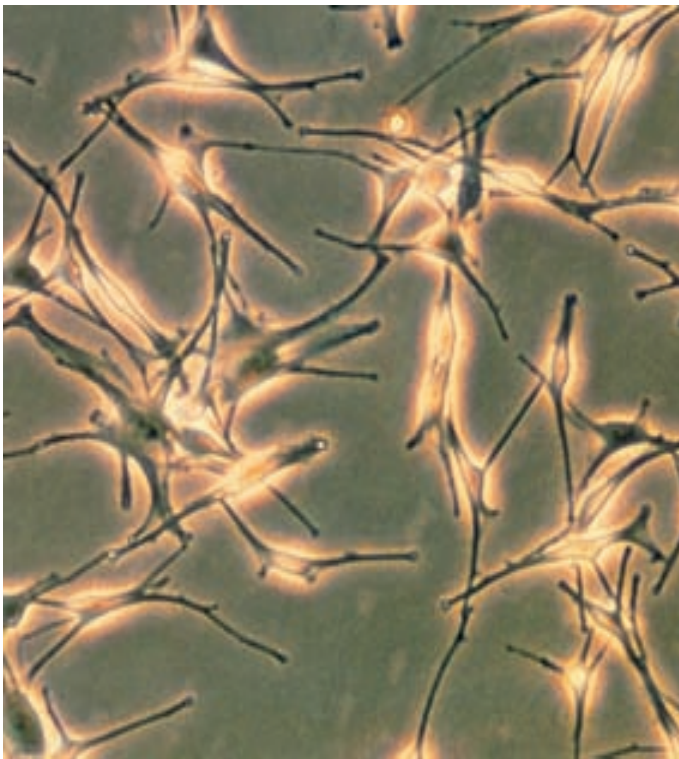
- Durante el fraccionamiento, las células y las soluciones que se utilizan deben mantenerse muy frías. ¿A qué puede ser debido?
- ¿Cómo se puede determinar el contenido del precipitado?
- Un homogeneizado de una célula animal se centrifuga a 15 000 g durante 40 minutos y el precipitado se desecha. ¿Qué orgánulos celulares había en el precipitado que se ha desechado? ¿Qué orgánulos celulares se quieren estudiar?
- Si inyectamos glucosa radiactiva (marcada con ^{14}C) en la vena de una rata, ¿dónde y en qué molécula podríamos medir la cantidad de carbono radiactivo procedente del metabolismo de la glucosa?

■ Cultivo celular

La mayoría de las células, tanto animales como vegetales, sobreviven, se dividen e incluso se diferencian en un medio de cultivo en condiciones adecuadas. Luego, las células se pueden utilizar para visualizarlas al microscopio o para analizarlas bioquímicamente.

El interés por el cultivo de células y tejidos es extraordinario debido a sus **aplicaciones en el campo de la Biología experimental, en Medicina, en Veterinaria, en Agricultura, etc.** Los cultivos de células y tejidos han permitido conocer el proceso de la mitosis, los movimientos celulares; la respuesta de la célula frente a sustancias tóxicas, bacterias, virus, parásitos celulares, etc. También se pueden estudiar los efectos de la adición o eliminación al medio de cultivo de moléculas específicas tales como hormonas o factores de crecimiento.

El cultivo de muchas células de vertebrados está limitado por un determinado número de divisiones celulares, así por ejemplo los fibroblastos humanos sólo se dividen en cultivo unas 25-40 veces. Las células que pueden dividirse indefinidamente y formar **líneas celulares inmortales** son las **células cancerosas** y las **células madre**. La importancia del cultivo de las células madre se debe a que son células indiferenciadas que con un tratamiento adecuado pueden dar lugar a cualquier tejido corporal.

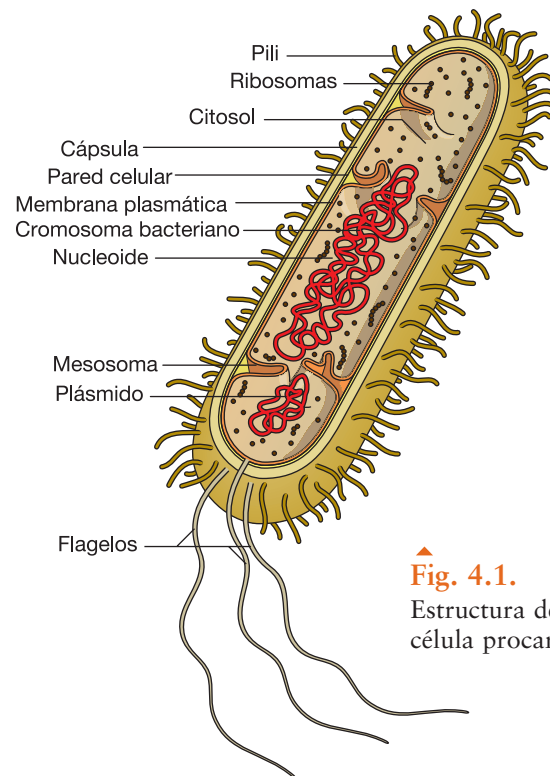


▲ **Fig. 3.3.** Cultivo de células (melanocitos humanos).

4 TIPOS DE ORGANIZACIÓN CELULAR

Entre los seres vivos existen dos tipos de organización celular claramente diferenciados:

Procariota (pro = antes de, y carión = núcleo): Organización típica de las células más sencillas y primitivas (fig. 4.1). Poseen una membrana plasmática y por encima de ella, la mayoría, tienen una pared celular de composición variable. Su principal característica es la de poseer el material genético (DNA bacteriano) en una región del citoplasma llamada **nucleoide**, **sin estar rodeado de una membrana**, es decir, están desprovistas de núcleo. Asimismo **carecen de la mayoría de los orgánulos celulares**, sólo poseen ribosomas. Sus enzimas respiratorios se localizan en unas invaginaciones de la membrana plasmática denominadas **mesosomas**. Su tamaño medio es de 1 a 10 μm . Son organismos unicelulares que pertenecen al **Reino Moneras**, tales como las arqueobacterias y las eubacterias.



▲ **Fig. 4.1.**
Estructura de una célula procariótica.

Eucariota (eu = verdadero, y carión = núcleo): Estas células son mucho mayores y más complejas que las procariotas. Su **material genético está dentro de un núcleo**, rodeado por una envoltura. También poseen diversos orgánulos limitados por membrana que dividen al citoplasma en compartimentos y un citoesqueleto. Su tamaño medio se sitúa entre 10 y 100 μm . Es propia de los organismos pluricelulares y de muchos unicelulares.

5 INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DE LA CÉLULA EUCARIÓTICA

En una célula eucariótica podemos distinguir tres partes fundamentales: **membrana, citoplasma y núcleo**.

La **membrana plasmática** es una capa continua que rodea a la célula y le confiere su individualidad al separarla de su entorno. Algunas células animales poseen por encima de la membrana plasmática una cubierta de hidratos de carbono denominada glicocáliz y las células vegetales tienen una gruesa pared de celulosa que cubre y protege a la membrana plasmática.

El **citoplasma** es la parte de la célula que está comprendida entre la membrana plasmática y la membrana nuclear.

Los orgánulos citoplasmáticos son los siguientes: **ribosomas, retículo endoplasmático, complejo de Golgi, lisosomas, vacuolas, peroxisomas, mitocondrias, cloroplastos y centriolos**.

El **núcleo** es el orgánulo más voluminoso de la célula y contiene la mayoría del DNA celular. Suele ocupar una posición central en la célula, aunque muchas de ellas lo tienen desplazado hacia un lado del citoplasma.

Se pueden distinguir dos tipos de células eucarióticas: animales y vegetales (fig. 5.1).

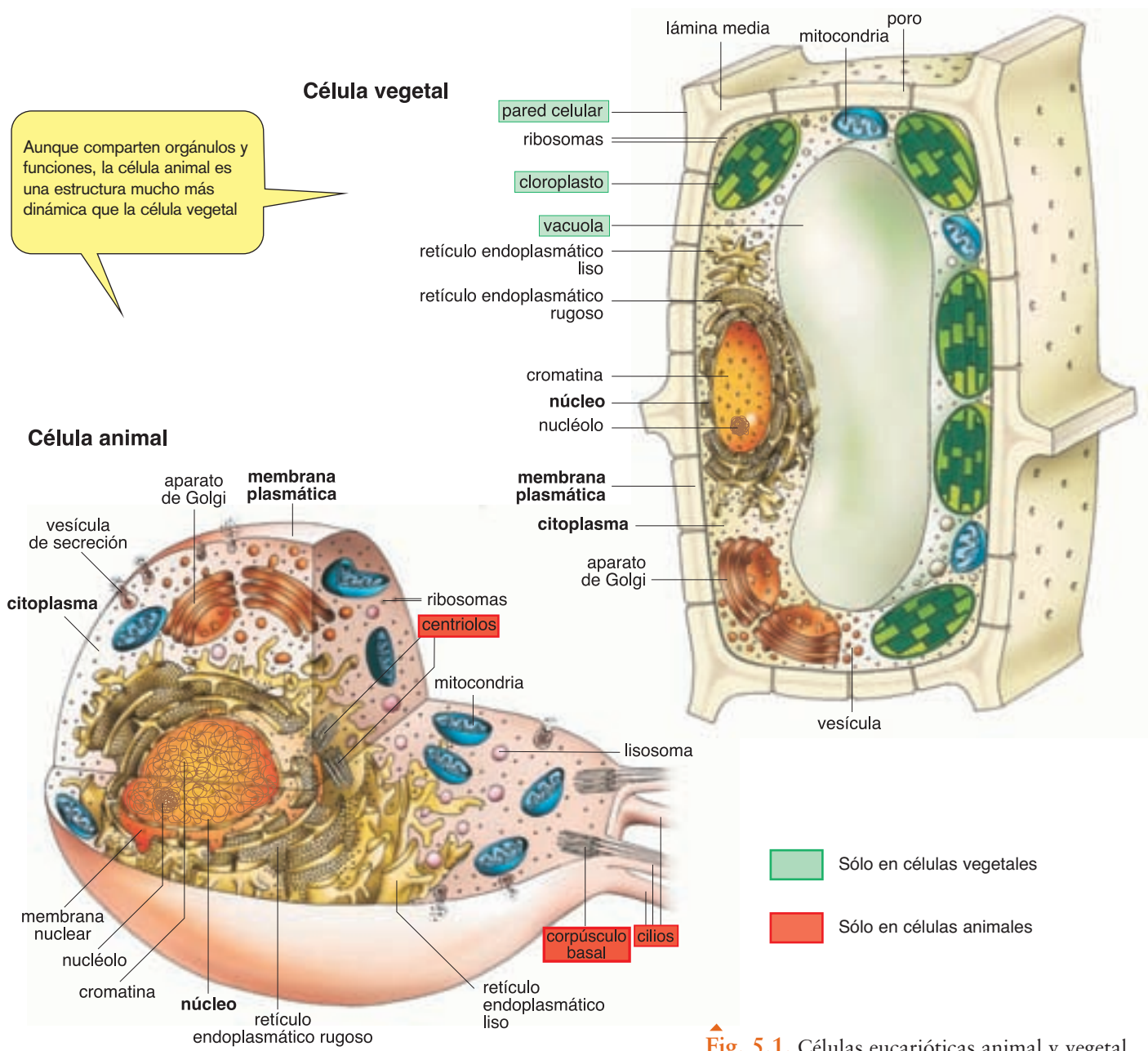
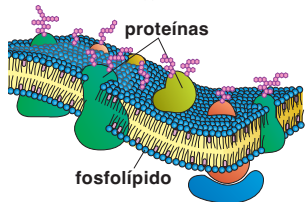
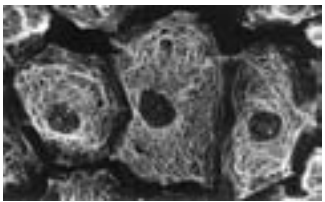
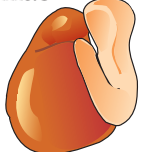

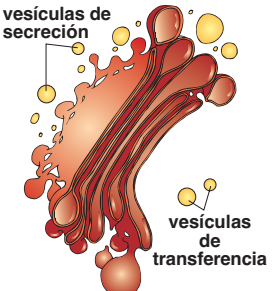
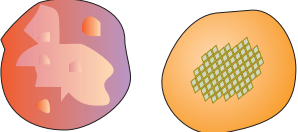


Fig. 5.1. Células eucarióticas animal y vegetal.

■ Estructuras de la célula eucariótica y sus funciones

■ Membrana y orgánulos celulares	■ Estructura y composición	■ Función
<p>Membrana plasmática</p>  <p>proteínas fosfolípido</p>	<p>Es una fina envoltura que rodea a la célula. Está formada por una bicapa de fosfolípidos en la que se encuentran diferentes proteínas, que pueden atravesar la bicapa o situarse en la superficie externa o interna de la misma.</p>	<p>Controla el intercambio de sustancias entre la célula y el medio. Posee proteínas receptoras que transmiten señales desde el exterior al interior de la célula</p>
<p>Citoplasma</p> 	<p>Medio acuoso, situado entre la membrana plasmática y la nuclear; en el que están inmersos los orgánulos celulares. Contiene fibras proteicas que actúan como un esqueleto celular. También puede contener gotas de grasa o de otras sustancias insolubles.</p>	<p>Contiene los orgánulos celulares. En él se realizan numerosas reacciones químicas que contribuyen al mantenimiento de la célula al proporcionar energía y fabricar sustancias que las células necesitan. Puede almacenar sustancias de reserva.</p>
<p>Ribosomas</p> 	<p>Son pequeños orgánulos formados por RNA y proteínas. Se pueden encontrar libres en el citosol o unidos a las membranas del retículo.</p>	<p>Fabrican proteínas</p>
<p>Retículo endoplasmático (RE)</p>  <p>(RE) Rugoso (RE) Liso Núcleo Envoltura nuclear</p>	<p>Está formado por una compleja red de membranas interconectadas que forman sáculos aplanados y túbulos que se extienden por todo el citoplasma. El RE puede ser: rugoso (posee ribosomas adosados a sus membranas) y liso (carece de ribosomas).</p>	<p>Su función está relacionada con la síntesis y el transporte de lípidos y proteínas de muchos orgánulos, así como de las proteínas que son segregadas al exterior.</p>
<p>Complejo de Golgi (AG)</p>  <p>vesículas de secreción vesículas de transferencia</p>	<p>Está formado por un conjunto de cisternas aplanadas y apiladas de las que se desprenden pequeñas vesículas cargadas de sustancias. Al AG llegan moléculas procedentes del RE y aquí son modificadas, clasificadas e introducidas en vesículas.</p>	<p>Secreción celular: consiste en que algunas vesículas producidas en el AG se fusionan con la membrana plasmática y vierten su contenido al exterior de la célula, pues contienen sustancias que cumplen allí su función (como la saliva, el jugo pancreático...). Formación de orgánulos celulares, tales como lisosomas y vacuolas.</p>
<p>Lisosomas y peroxisomas</p> 	<p>Los lisosomas son vesículas que contienen enzimas digestivas. Los peroxisomas son vesículas que contienen enzimas oxidativas.</p>	<p>Los lisosomas se encargan de digerir sustancias alimenticias y orgánulos celulares dañados. Los peroxisomas llevan a cabo reacciones que generan y destruyen peróxido de hidrógeno.</p>

PRESENTES EN TODAS LAS CÉLULAS EUCARIÓTICAS

Membrana y orgánulos celulares

Estructura y composición

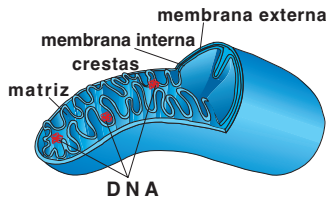
Función

PRESENTES EN TODAS LAS CÉLULAS EUKARIÓTICAS

EXCLUSIVOS DE LAS CÉLULAS ANIMALES

EXCLUSIVOS DE LAS CÉLULAS VEGETALES

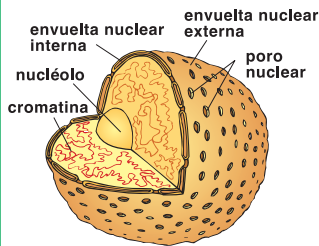
Mitocondrias



Son orgánulos energéticos presentes en todas las células eucarióticas. Están rodeados por dos membranas: la externa lisa y la interna muy plegada formando las crestas. La cavidad interna se denomina matriz y está formada por un medio acuoso que contiene muchas enzimas, DNA, RNA y ribosomas.

En ellas tiene lugar la respiración celular. Proceso que consiste en la oxidación de la materia orgánica para obtener energía mediante la cual las células llevan a cabo todas sus funciones celulares.

Núcleo

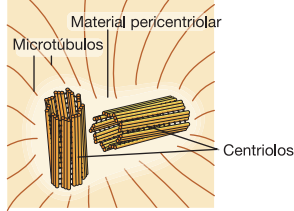


Está rodeado por una doble membrana que presenta poros que permiten la comunicación entre el núcleo y el citoplasma. En su interior destacan:

- Nucleoplasma que es un líquido viscoso.
- Nucléolo o pequeño corpúsculo.
- Cromatina formada por el DNA y proteínas.

Es el orgánulo director de la célula ya que contiene el DNA celular, o sea, la información genética para realizar todas las funciones celulares. Es también responsable de la división de la célula. En el nucléolo se fabrican los ribosomas.

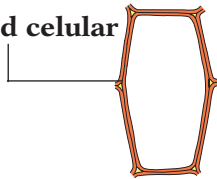
Centrosoma



Está formado por dos orgánulos cilíndricos llamados centriolos que están rodeados de una zona clara y densa de la que parten unos filamentos a modo de radios que forman el áster. Las células de los vegetales superiores carecen de centriolos.

Los centriolos organizan el citoesqueleto y controlan la forma y el movimiento de las células; además intervienen en la división celular.

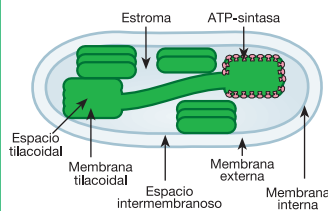
Pared celular



Es exclusiva de las células vegetales. Está formada por celulosa y es una gruesa cubierta situada sobre la superficie externa de la membrana plasmática.

Protege y da forma a las células vegetales. A veces, la celulosa se impregna de otras sustancias y la pared se hace impermeable o aumenta su rigidez.

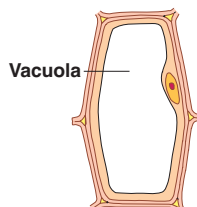
Cloroplastos



Son orgánulos energéticos exclusivos de las células vegetales. Están rodeados por dos membranas concéntricas. El espacio interno, llamado estroma, contiene un medio acuoso con numerosas enzimas, DNA, RNA y ribosomas; también contiene una membrana muy plegada donde se localiza la clorofila.

Son los orgánulos encargados de realizar la fotosíntesis, proceso mediante el cual la energía de la luz, absorbida por la clorofila, se utiliza para transformar la materia inorgánica en materia orgánica.

Vacuolas



Características de las células vegetales. Son grandes vesículas que pueden llegar a ocupar hasta el 90% del volumen celular.

Almacenan gran variedad de sustancias (nutritivas, productos de desecho, pigmentos, etc.).

6 EL PASO DE LAS CÉLULAS PROCARIÓTICAS A LAS EUCARIÓTICAS

Se cree que todos los organismos que viven actualmente sobre la Tierra derivan de una única célula primitiva, denominada por algunos autores **LUCA**, el último antepasado común de los organismos unicelulares (Last Universal Common Ancestor), que surgió hace aproximadamente unos 3 500 millones de años, y debió ser una célula del tipo de las Procarióticas (bacterias), ya que carecía de núcleo.

Las **primeras células procarióticas** debieron ser **heterótrofas** (se alimentaban de la materia orgánica presente en la sopa o caldo primitivo) y obtenían la energía de dicha materia por **fermentación**. La proliferación de estas células condujo al empobrecimiento del medio en que vivían, lo que trajo consigo la supervivencia de aquellas células que habían adquirido la capacidad de utilizar compuestos inorgánicos sencillos, como el CO_2 , y la luz como fuente de energía. Se cree que estas **primeras células fotosintéticas** aparecieron hace algo más de 3 000 millones de años y que **al principio no liberaban oxígeno** en su actividad, pues es muy probable que utilizaran sulfuro de hidrógeno en vez de agua (como las actuales bacterias verdes y purpúreas del azufre).

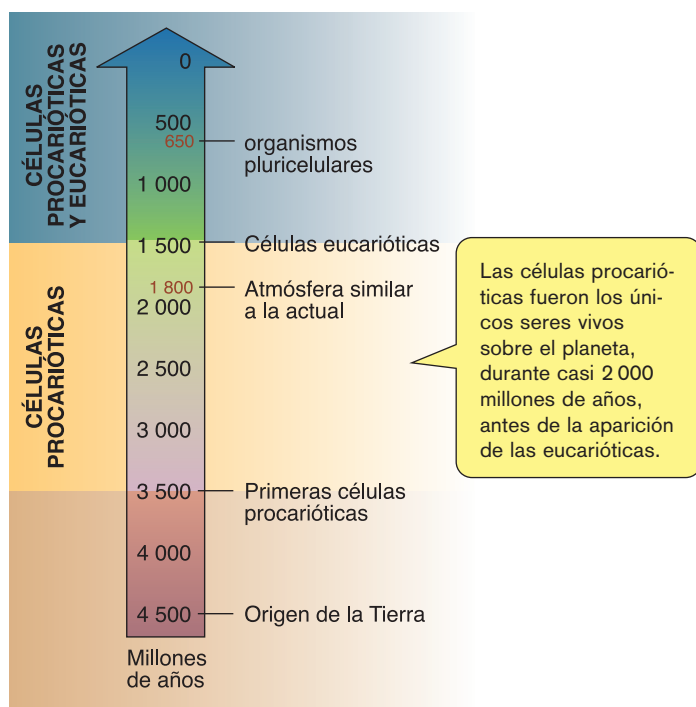


Fig. 6.1. Escala de tiempo en la que figuran algunos cambios en la Tierra y la aparición de los principales grupos de seres vivos.

Posteriormente aparecieron las **células procarióticas fotosintéticas que desprendían oxígeno** (como las cianobacterias fósiles encontradas en sedimentos de hace 3 000 millones de años) y la atmósfera terrestre comenzó a cambiar. La aparición de bacterias heterótrofas aeróbicas tuvo que ser muy posterior porque la elevación de los niveles de oxígeno en la atmósfera fue muy lenta.

Se supone que hace unos 1 800 millones de años la cantidad de oxígeno atmosférico ya era similar a la actual. Además, en las capas altas de la atmósfera, **se formó el ozono**, un gas derivado del oxígeno, que absorbe intensamente las radiaciones ultravioletas del sol que destruyen a los organismos; por tanto disminuyó la intensidad de estas radiaciones en las superficies terrestre y marina **posibilitando la vida en las zonas más superficiales de los mares y, posteriormente, el paso a tierra firme**.

La presencia de oxígeno en la atmósfera supuso importantes adaptaciones moleculares en las células que les permitieron captar el oxígeno e incorporarlo a las vías metabólicas oxidativas, surgiendo así las **bacterias aeróbicas**. La respiración aeróbica proporciona mucha mayor energía a las células y esto fue crucial para la evolución hacia formas más complejas de vida. Como consecuencia se dio un paso muy importante para que se pudieran formar organismos pluricelulares: la aparición de **células eucarióticas**, hace unos 1 500 millones de años.

Las células eucarióticas proceden de una **célula procariótica ancestral anaeróbica** que aumentó de tamaño y fue adquiriendo progresivamente sus membranas internas por repliegues o invaginaciones de la membrana plasmática; se formó así el núcleo y algunos orgánulos tales como el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi, los lisosomas, etc. Esta célula eucariótica primitiva de gran tamaño debía alimentarse de otras células más pequeñas por lo que probablemente también tenía un citoesqueleto.

■ La teoría endosimbiótica

Con respecto al origen de los orgánulos energéticos (mitocondrias y cloroplastos) actualmente se acepta la **teoría endosimbiótica de Margulis** que supone que dichos orgánulos evolucionaron a partir de bacterias que fueron fagocitadas por dicha célula ancestral (fig. 6.2).

Según esta teoría, las **mitocondrias** tienen su origen, hace unos 1 500 millones de años, **a partir de una bacteria aeróbica** que estableció una relación simbiótica, de beneficio mutuo, permanente con un eucariota anaeróbico primitivo.

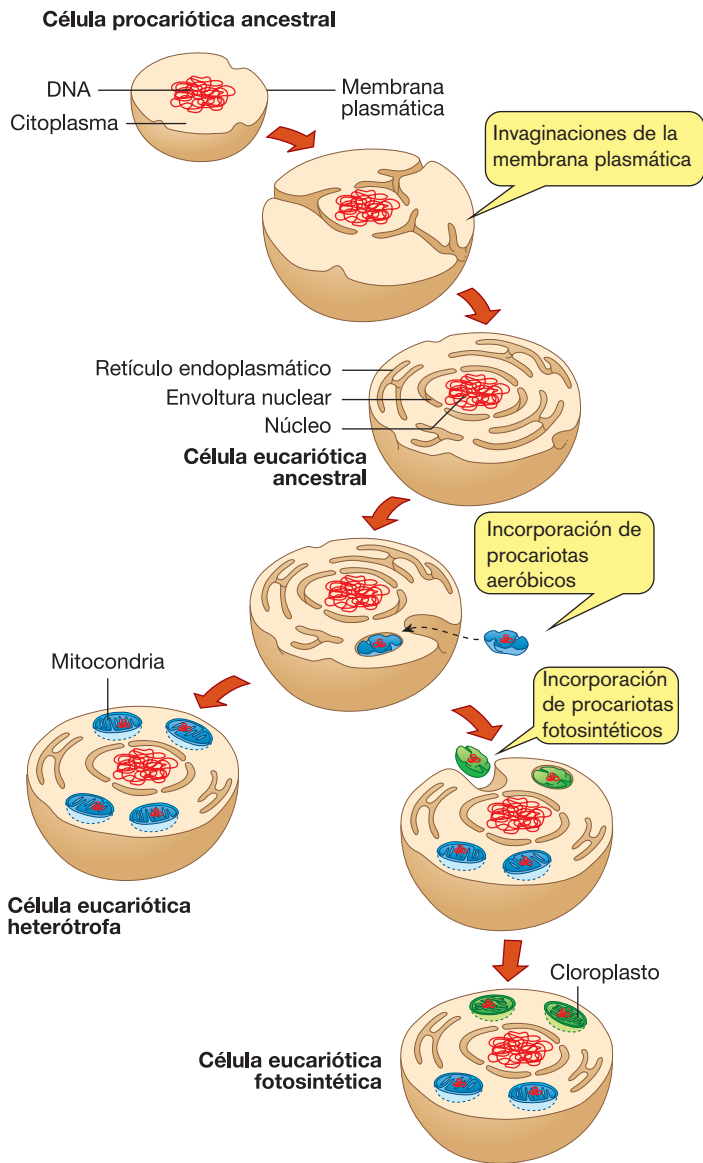


Fig. 6.2. Esquema que representa la evolución de las células eucariotas y el origen de las mitocondrias y los cloroplastos.

La adquisición de las mitocondrias constituye una etapa fundamental para los eucariotas, ya que supone la capacidad de realizar la respiración aeróbica. Los **cloroplastos** los habrían adquirido más tarde, hace entre 1 200 y 1500 millones de años, algunos eucariotas que fagocitaron **bacterias fotosintéticas** y establecieron una relación simbiótica con ellas; a partir de estos últimos eucariotas se formaron los diversos grupos de vegetales (fig. 6.3).

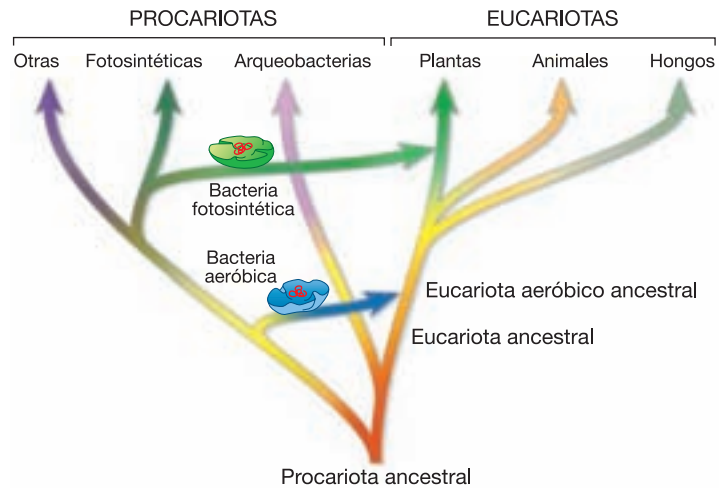


Fig. 6.3. Árbol filogenético de las primeras células y los grupos de seres vivos a los que dieron lugar.

Estos acontecimientos explican el hecho de que las mitocondrias y los cloroplastos contengan DNA. Sin embargo, estos orgánulos han perdido gran parte de su genoma, por lo que se cree que en las primeras fases de la evolución eucariótica se produjo una transferencia desde el DNA del orgánulo al DNA del núcleo.

Las células eucariotas, al tener un mayor rendimiento energético por su metabolismo aeróbico, se asociaron formando colonias, cada vez más coordinadas, hasta que finalmente, dieron lugar a los primeros organismos pluricelulares, hace unos 650 millones de años.

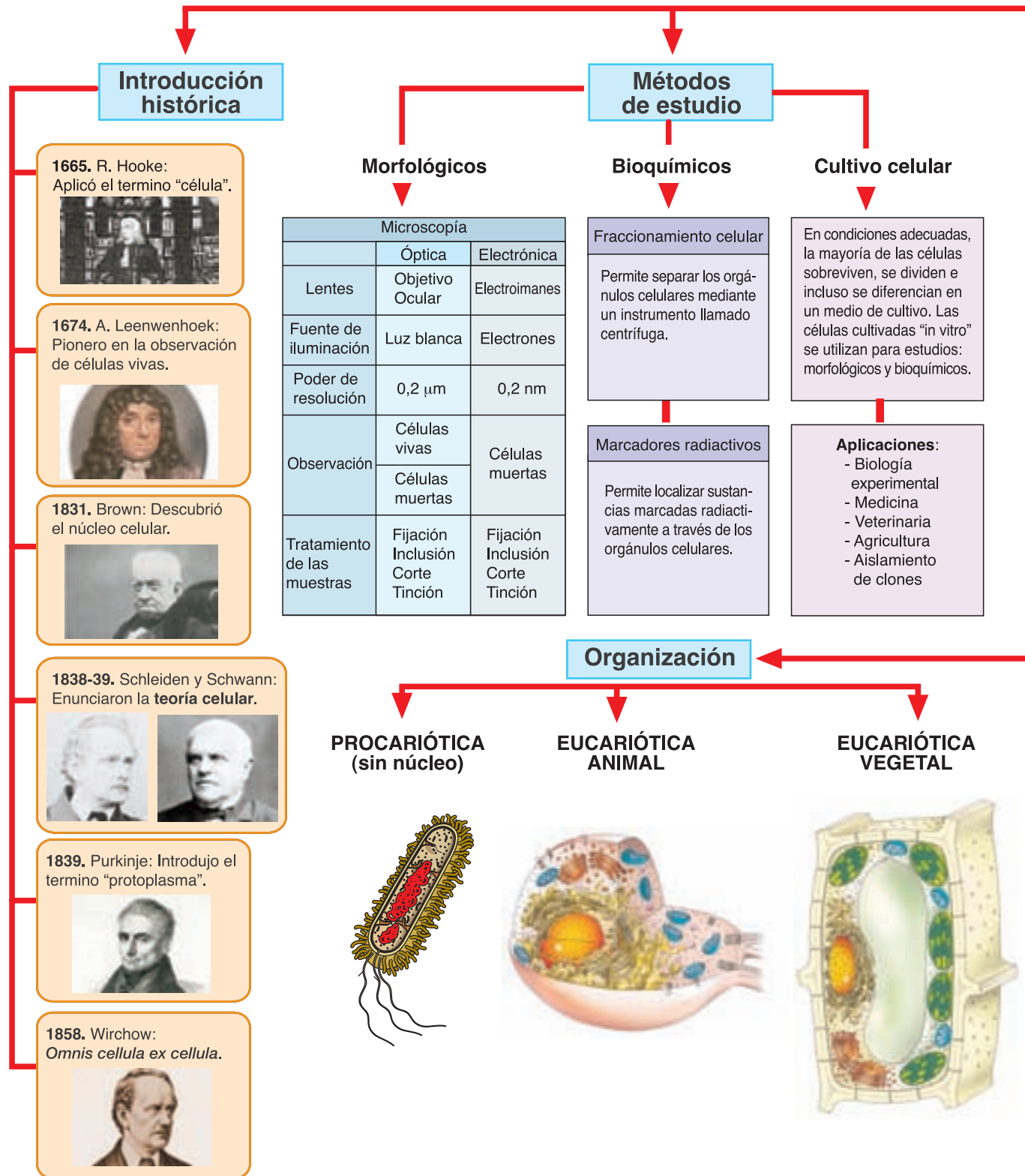
Se ha comprobado que existen actualmente varias relaciones endosimbióticas. La ameba *Pelomyxa palustris* que carece de mitocondrias hospeda bacterias aeróbicas con las que establece una relación simbiótica permanente. También hay protozoos y esponjas que contienen auténticas cianobacterias y mantienen una relación de simbiosis con ellas.

Actividades

Ordena los siguientes seres vivos según su orden de aparición: bacterias aeróbicas, células eucariotas anaeróbicas, cianobacterias, células eucariotas fotosintéticas, bacterias anaeróbicas, células eucariotas aeróbicas, plantas y animales. Indica de estos seres vivos los que contienen mitocondrias y los que contienen cloroplastos. Construye ahora el árbol filogenético de estos organismos, señalando el origen de sus orgánulos energéticos.

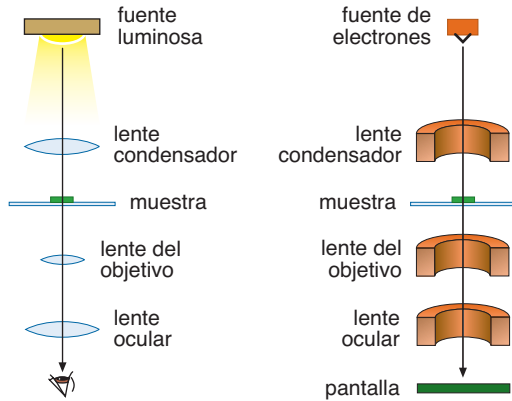
	■ Procarióticas	■ Eucarióticas
Organismos	Eubacterias y Arqueobacterias.	Protoctistas, Hongos, Plantas y Animales.
Tamaño celular	De 1 a 10 μm	De 10 a 100 μm .
Envoltura nuclear	No tienen.	Sí tienen. Es una doble envoltura membranosa que presenta poros.
Núcleo	No tienen. El DNA está condensado en una zona del citoplasma denominada nucleoide.	Tienen núcleo y dentro de él están los cromosomas y el nucléolo.
DNA	Una molécula de DNA circular; sin proteínas, que equivale a un único cromosoma. Además, tienen pequeños DNA circulares, denominados plásmidos.	Varias moléculas lineales de DNA asociadas a proteínas, formando la cromatina. Cuando la célula va a dividirse, la cromatina se condensa y forma los cromosomas.
Nuécleo	No tiene.	Sí tiene.
Ribosomas	70S	80S
Sistema de endomembranas	No	Sí, formando los orgánulos.
Orgánulos	Ribosomas.	Núcleo, ribosomas, complejo de Golgi, RE, mitocondrias, cloroplastos, etc.
Citoesqueleto	No	Sí y, las células animales, además tienen centríolos.
Pared celular	Sí poseen una gruesa pared de mureina (peptidoglicano). Algunas, además, poseen una cápsula por encima de dicha pared.	Sólo las células vegetales tienen una gruesa pared de celulosa por encima de la membrana plasmática.
Endocitosis y exocitosis	No	Sí
Locomoción	Flagelo bacteriano.	Cilios y flagelos, estructuralmente diferentes al flagelo bacteriano.
Metabolismo	Aeróbico y anaeróbico.	Aeróbico.
Enzimas respiratorios	En los mesosomas que son invaginaciones de la membrana plasmática.	En las mitocondrias.
División celular	Por simple bipartición. No presentan mitosis.	El núcleo se divide por mitosis.
Formas	Unicelulares, aunque pueden formar colonias.	Pueden ser unicelulares y pluricelulares.

Célula

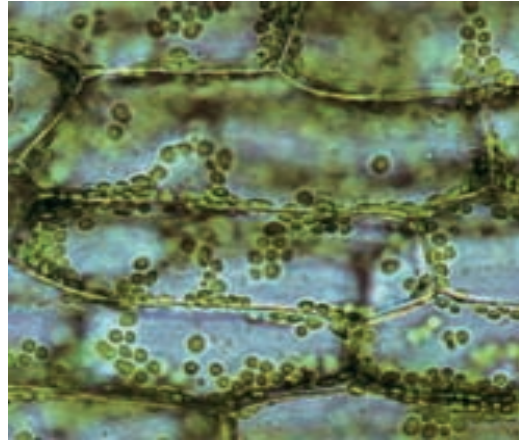


Las células son muy pequeñas y complejas, de ahí que resulte difícil tanto observarlas como determinar sus características: composición química, funciones de sus componentes, etc. El estudio de la célula depende pues de los instrumentos de trabajo que se puedan utilizar. De hecho, los mayores avances en la Biología Celular han estado relacionados con el descubrimiento de nuevas herramientas y métodos de estudio.

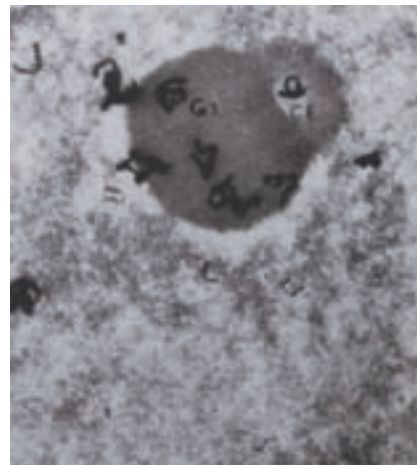
- 1 Señala las semejanzas y diferencias entre las células procariotas y las eucariotas.
- 2 Enumera las semejanzas y diferencias entre las células animales y las vegetales. Realiza un esquema de ambas indicando sus componentes.
- 3 Indica a qué corresponden los siguientes esquemas y señala las funciones de sus componentes.



- 4 Señala las semejanzas y diferencias entre el microscopio óptico y el electrónico. ¿Qué ventajas presenta el uso del microscopio electrónico?
- 5 Con el microscopio electrónico no se pueden obtener imágenes de células vivas. ¿A qué es debido?
- 6 Analiza el desarrollo de la teoría celular y haz una valoración de su importancia como teoría básica de la biología.
- 7 La siguiente secuencia, citosol → ribosomas → RE rugoso, indica la localización de las moléculas de aminoácido marcadas radiactivamente e introducidas en una célula. Explícala.
- 8 La mayoría de las células de los vertebrados mueren tras un número finito de divisiones en cultivo; por ejemplo, las células cutáneas humanas en cultivo sobreviven durante algunos meses, dividiéndose únicamente entre 50 y 100 veces antes de morir. ¿A qué puede deberse?
- 9 Observa y analiza las siguientes micrografías de células. Indica: a) Si son micrografías ópticas o electrónicas; b) El tipo de células; c) Los orgánulos y estructuras que se observan en cada una de ellas.



- 10 ¿Por qué hay un límite en el poder de resolución de los microscopios, tanto si se trata de los ópticos como de los electrónicos?
- 11 Interpreta la siguiente autorradiografía de un núcleo de linfocito marcado con uridina tritiada. El corpúsculo que se observa es el nucléolo.



El plancton bacteriano de los océanos

Las bacterias se han considerado a menudo seres primitivos, simples y mínimos. Al tratarse de organismos unicelulares presentan un tamaño muy reducido. Pero su supuesta simplicidad es solo aparente: su complejidad no se manifiesta en forma morfológica sino a través de una amplia variedad de estrategias metabólicas. Proliferan en ambientes cuyas condiciones físico-químicas y fuentes de energía evidencian una llamativa variabilidad.

Las bacterias se han adaptado a todos los medios. Los océanos forman un vasto espacio en la biosfera donde las bacterias proliferan y dominan en número y actividad sobre otros organismos. Dada la extensión de los océanos, las funciones ecológicas de las bacterias que allí medran revisiten suma importancia para la vida en la Tierra.

En el medio oceánico escasean los nutrientes. Es un **medio oligotrófico**. Elementos como el nitrógeno, el fósforo y el hierro resultan esenciales para los seres vivos y limitan, por tanto, la producción oceánica. Las bacterias oceánicas **presentan adaptaciones para multiplicarse en ese medio**, en el que se mueven erráticamente, a merced de las corrientes de agua. Debido a su número, diversidad y actividad, **el bacterioplancton constituye una pieza fundamental del entramado biológico oceánico**.

En la zona fótica la cantidad media de bacterias es de 500 000 por centímetro cúbico. Su tamaño oscila entre 0.2 y 2 μm . **El tamaño reducido constituye una ventaja porque la proporción entre la superficie y el volumen es mayor**

cuando menor es el tamaño. En las bacterias una mayor superficie en relación con el volumen optimiza el flujo de nutrientes hacia el interior. Ello reviste suma importancia en un medio tan diluido en nutrientes como es el océano.

Por debajo de la zona fótica, la concentración de microorganismos cae a 100 000 por cm^3 . En determinadas condiciones, la cantidad de microorganismos es superior. Cuando se producen proliferaciones de algas unicelulares en las regiones costeras, el número de bacterias supera el millón por cm^3 . En los mares y en las regiones costeras con un intercambio limitado con el agua oceánica, como algunas zonas del Mediterráneo, la abundancia de bacterias es superior.

La gran cantidad de bacterias que contiene el cuerpo humano nos resulta casi inconcebible (unas 10^{14} bacterias). El número total de bacterias que viven en los océanos es mayor todavía. Teniendo en cuenta que los océanos ocupan un total de $1.5 \times 10^9 \text{ km}^3$, se estima que **el número de microorganismos del bacterioplancton marino ronda los 10^{29}** . Esa cifra corresponde a una biomasa equivalente a la biomasa total de algas marinas y es mayor que la de los peces y mamíferos del medio oceánico.

Esta biomasa microbiana tan abundante ha pasado inadvertida a lo largo de la historia. Dado que su tamaño es del orden de la longitud de onda de la luz visible, el plancton bacteriano resulta casi invisible al microscopio óptico. Hace más de tres siglos, Antonie van Leeuwenhoek observó "animálculos" en muestras de agua



de mar mediante un microscopio rudimentario. Sin embargo, hasta los años setenta del siglo pasado no empezaron los recuentos directos del bacterioplancton, mediante tinciones basadas en la unión de colorantes fluorescentes a los ácidos nucleicos.

La importancia de la biomasa bacterioplanctónica estriba en su diversidad genética, metabólica y fisiológica. El plancton bacteriano cumple múltiples funciones biológicas.

- Cuestiones**
1. ¿Qué ventaja tienen las bacterias para sobrevivir en el medio oceánico que es muy pobre en nutrientes?
 2. Hasta finales de los años 1970, poco después de introducirse la microscopía por epifluorescencia en oceanografía marina, no se empezó a tener datos sobre la abundancia del bacterioplancton. Comenta la importancia de los métodos de trabajo en Biología.

8

CITOSOL Y CITOESQUELETO





La marathon de New York es una de las pruebas deportivas más concurridas y competitivas. Los ganadores son atletas de alta preparación y excelente rendimiento. Sus fotografías aparecen en la prensa de todo el mundo y son conocidos y admirados.

Y sin embargo todos los que estamos leyendo estas líneas, procedemos de una carrera mucho más dura y competitiva, con obstáculos mecánicos y químicos formidables. Millones de espermatozoides han de salvarlos y uno sólo de ellos fecundará un óvulo que dará lugar a un ser humano.

Los espermatozoides son un tipo especial de células –gametos masculinos– dotados de un flagelo capaz de propulsarlos hacia su objetivo. Este flagelo está dotado de una serie de microtúbulos que constituyen un prodigio de ingeniería celular que puede transformar la energía química contenida en el ATP, en energía cinética.

No todas las células disponen de flagelos y cilios. Sin embargo todas ellas poseen otra estructura denominada en conjunto citoesqueleto en la que las microfibras y microtúbulos proteínicos son los elementos constituyentes. El citoesqueleto, no es sólo un almacén, sino que constituye una estructura dinámica que contribuye a la organización celular.

- 1 Citosol
- 2 Citoesqueleto
- 3 Filamentos de actina
- 4 Filamentos intermedios
- 5 Microtúbulos
- 6 Cilios y flagelos
- 7 Centrosoma: centro organizador de microtúbulos

Resumen

Actividades

Documentos

La contracción muscular

1 CITOSOL

El citosol es el **medio acuoso del citoplasma** en el que se encuentran inmersos los orgánulos celulares. Representa un poco más de la mitad del volumen total de la célula.

Posee una consistencia de **gel** y su composición es compleja. En él se encuentran disueltos iones inorgánicos, numerosas pequeñas moléculas orgánicas (aminoácidos, monosacáridos, nucleótidos, coenzimas y metabolitos intermedios de las rutas degradativas y de biosíntesis), moléculas de RNA y una **gran cantidad de proteínas**, la mayoría **enzimas** que catalizan un gran número de reacciones del metabolismo celular.

También contiene una gran variedad de filamentos proteicos que le proporcionan una compleja estructura interna. El conjunto de estos filamentos constituye el **citoesqueleto**.

Además, en el citosol de muchas células se almacenan sustancias de reserva en forma de gránulos, denominados **inclusiones**, que no están rodeados por una membrana. Así, las células musculares y los hepatocitos contienen gránulos de glucógeno y los adipocitos contienen grandes gotas de grasa, que pueden llegar a ocupar casi todo el citosol (figs. 1.1 y 1.2).

Todas las células eucarióticas tienen un esqueleto interno, el **citoesqueleto**, formado por una compleja red de filamentos proteicos que se extiende por todo el citoplasma.

En el citosol se observan numerosas partículas de glucógeno, asociadas en grumos de color oscuro.

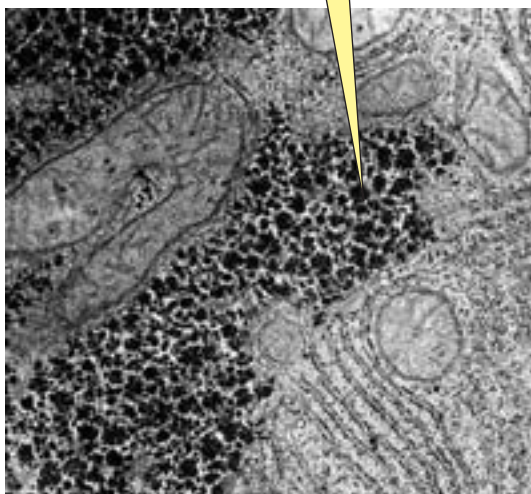


Fig. 1.1. Micrografía electrónica de hepatocito de rata.

En el citosol se observan grandes gotas lipídicas o gotas de grasa.

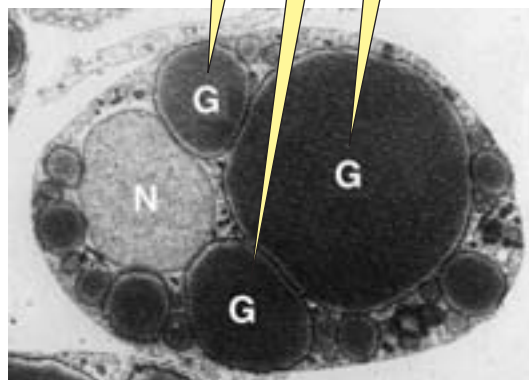


Fig. 1.2. Micrografía electrónica de un adipocito de feto de cerdo (N = núcleo; G = gotas de grasa).

Una célula eucariótica contiene miles de millones de moléculas proteicas, que constituyen cerca del 60% de su peso seco, y entre el 25 y el 50% de ellas se encuentran en el citosol. Debido a esta gran concentración de proteínas, el citosol es un gel viscoso organizado por las fibras citoesqueléticas. Se cree que esta estructura ayuda a organizar las reacciones enzimáticas. Muchos investigadores creen que la mayoría de las proteínas están unidas a fibras y localizadas en regiones concretas.

2 CITOESQUELETO

El citoesqueleto confiere a la célula su forma y su capacidad de movimiento, proporcionándole además un entramado interno que permite a ésta tanto situar como transportar sus orgánulos en el citoplasma (fig. 2.1).

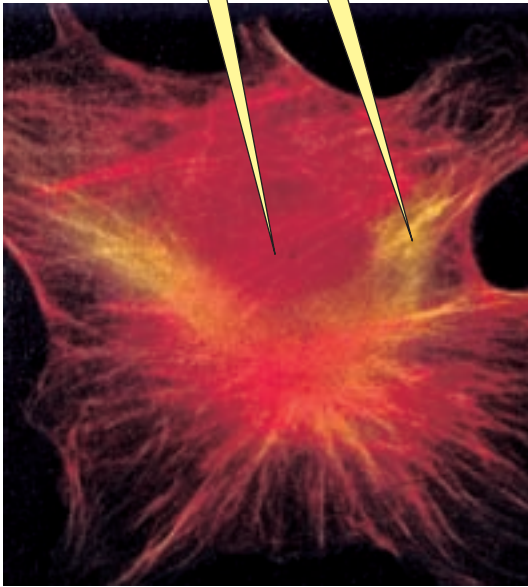
Las diversas funciones del citoesqueleto se realizan con el concurso sólo de tres tipos de fibras:

- Los **filamentos de actina** o **microfilamentos** son las fibras más delgadas, tienen un diámetro de unos 7 nm y están formados por la proteína **actina**.
- Los **microtúbulos** miden 25 nm de diámetro y son cilindros huecos formados por la proteína **tubulina**.
- Los **filamentos intermedios** tienen un diámetro de 10 nm, intermedio entre los anteriores, y las proteínas que los forman varían según el tipo celular.

Los tres tipos de filamentos del citoesqueleto están conectados entre sí, lo que permite coordinar sus funcio-

a

Se observan microfilamentos en rojo y microtúbulos en amarillo.

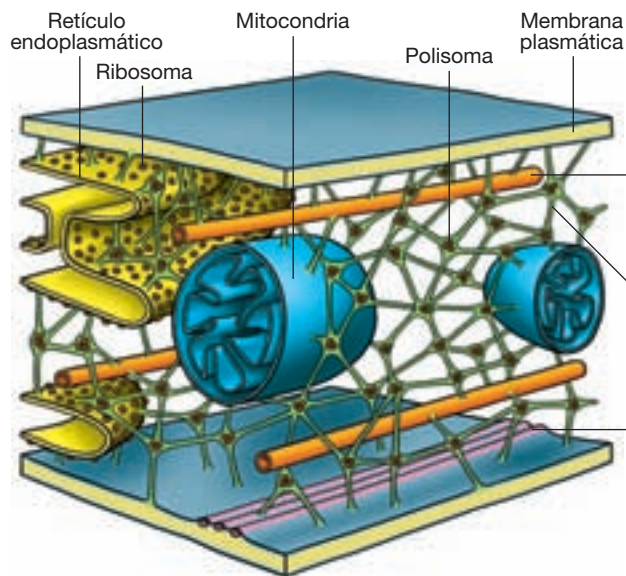


nes; todos ellos intervienen en la estructura y organización del citoplasma y dan forma a la célula. Los filamentos de actina y los microtúbulos participan también en los movimientos celulares, ya sea de los orgánulos o de la célula.

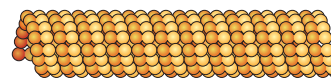
Los **filamentos de actina** y los **microtúbulos** poseen dos características esenciales para la función que desempeñan en la motilidad celular. Por una parte, **son estructuras dinámicas** que pueden formarse o destruirse, por adición o pérdida de las proteínas que los forman. Por otra parte, **presentan polaridad**, es decir, sus dos extremos son diferentes y uno de ellos se denomina "extremo +" y el otro "extremo -", tendiendo a polimerizarse o alargarse por el extremo +.

También intervienen en algunas funciones del citoesqueleto unas **proteínas especializadas** denominadas "**motoras**" que utilizan la energía del ATP para cambiar de forma o moverse. Los filamentos de actina y los microtúbulos actúan como rieles para las **proteínas motoras** que ayudan a la célula a moverse o a mover vesículas dentro de ella (fig. 2.1 b). Entre las proteínas motoras están: la miosina, la dineína y la kinesina.

b

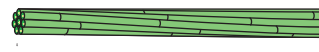


Microtúbulo (Ø 25 nm)



Los microtúbulos son los principales componentes del citoesqueleto.

Filamentos intermedios (Ø 10 nm)



Los filamentos intermedios son parecidos a cuerdas y confieren resistencia mecánica a las células.

Microfilamentos (Ø 7 nm)



Los filamentos de actina forman una red por debajo de la membrana plasmática y son los responsables de la forma y movimiento de la superficie celular.

Fig. 2.1. a) Micrografía del citoesqueleto de un fibroblasto. b) Estructura del citoesqueleto de una célula

Actividades

- Señala las diferencias entre citoplasma y citosol.
- En el citoplasma de las células musculares se encuentran gránulos o inclusiones de glucógeno. Razona por qué se almacena la glucosa de esta forma y en estas células.
- Las bacterias carecen, aparentemente, de citoesqueleto, por lo que podría haber sido un factor decisivo en la evolución de las células eucarióticas. Razona la importancia o necesidad del citoesqueleto en las células eucarióticas.
- ¿Qué relación hay entre el citosol y el citoesqueleto?
- En las células cancerosas el citoesqueleto está alterado. ¿Cómo se verán afectadas por este hecho dichas células?

3 FILAMENTOS DE ACTINA

Todas las células eucarióticas tienen **actina** y en muchas de ellas es la proteína más abundante, llegando a constituir el 5 % o más de la proteína celular total. Los filamentos de actina se unen a diferentes proteínas fijadoras de actina, las cuales permiten que los filamentos cumplan diversas funciones celulares. La "**proteína motora**" **miosina** se asocia con la actina en todas las células musculares y probablemente también en células no musculares.

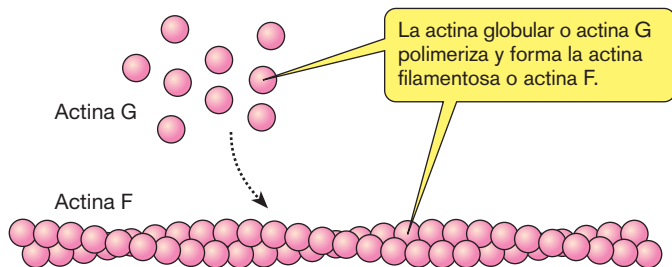


Fig. 3.1. Estructura del filamento de actina. La actina globular polimeriza y forma la actina filamentosa.

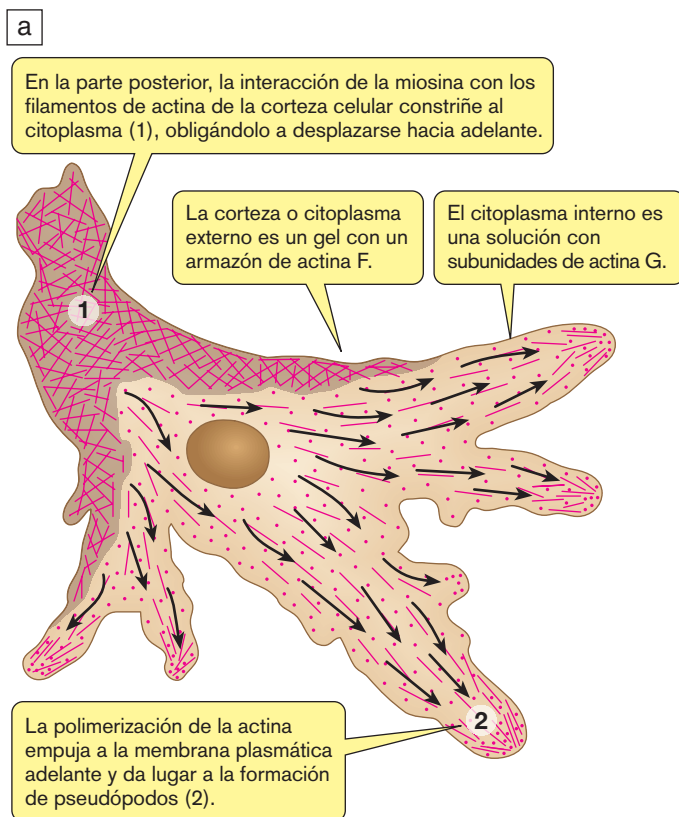


Fig. 3.2. a) Esquema de una ameba en movimiento mediante pseudópodos. b) Micrografía de una ameba.

■ Estructura

Los filamentos de actina están formados por moléculas de una proteína globular denominada actina G, que en presencia de ATP polimeriza formando un **filamento doble helicoidal**, también llamado **actina filamentosa** o actina F (fig. 3.1).

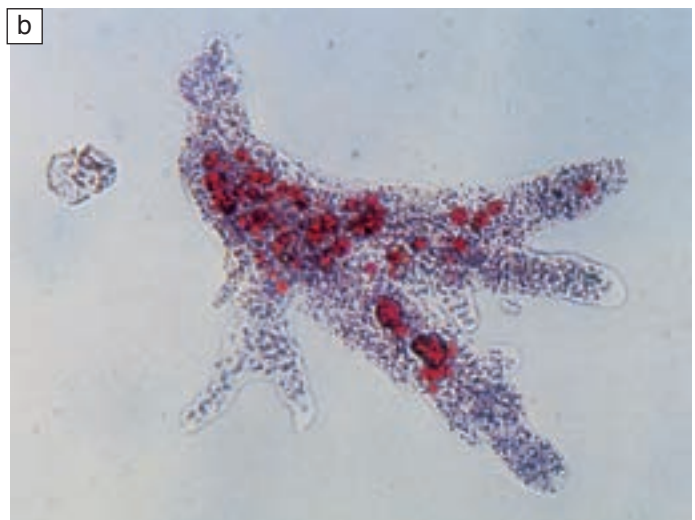
En muchas células no musculares, los filamentos de actina son estructuras dinámicas que pueden aparecer y desaparecer en función de las necesidades de la célula.

■ Funciones

Las principales funciones de los filamentos de actina son:

- **Intervienen en la contracción muscular.** En las células musculares los filamentos de actina se asocian con los de miosina y otras proteínas. La contracción muscular se produce por el deslizamiento de los filamentos de actina sobre los de miosina y está impulsada por la hidrólisis de ATP.
- **Intervienen en el movimiento ameboide** y en la fagocitosis, mediante la **formación de pseudópodos**.

Los pseudópodos son prolongaciones dinámicas de la superficie celular que contienen actina; en el interior de los pseudópodos los filamentos de actina se disponen de forma ordenada, con sus extremos en crecimiento hacia el exterior. Se cree que la polimerización de los filamentos de actina, justo por debajo de la membrana plasmática, interviene en la extensión del pseudópodo y por tanto colabora en el desplazamiento de la célula (fig. 3.2).



- **Contribuyen a reforzar la membrana plasmática.** La mayoría de las células animales poseen una densa red de filamentos de actina, justo por debajo de la membrana plasmática. Esta red constituye la corteza celular que da fuerza mecánica a la superficie de la célula y le permite cambiar de forma y moverse.
- **Mantienen la estructura de las microvellosidades.** Así, en el interior de las microvellosidades de las células del epitelio intestinal hay un haz de filamentos paralelos de actina que mantienen su estructura rígida (fig. 3.3).

Las microvellosidades de las células que revisten el intestino delgado aumentan la superficie de absorción de los nutrientes

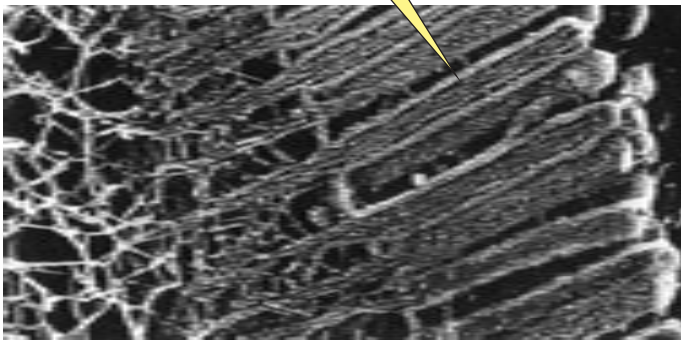


Fig. 3.3. Micrografía electrónica en la que se observan los filamentos de actina de las microvellosidades de una célula intestinal.

- **Producen corrientes citoplasmáticas o de ciclosis.** En las células vegetales, las corrientes citoplasmáticas hacen girar el citoplasma alrededor de su vacuola central (fig. 3.4).
- **Forman el anillo contráctil.** Durante la división celular, se forma alrededor del ecuador de la célula, justo por debajo de la membrana plasmática, un haz de filamentos de actina y miosina, conocido como anillo contráctil (fig. 3.5). El estrechamiento del anillo conducirá a la separación de las células hijas.

Una corriente citoplasmática circula en el interior de la célula (solución) donde los filamentos de actina se encuentran en disposición paralela, mientras que el citoplasma más externo, cercano a la pared celular, permanece inmóvil en forma de gel gracias a la red de filamentos de actina.

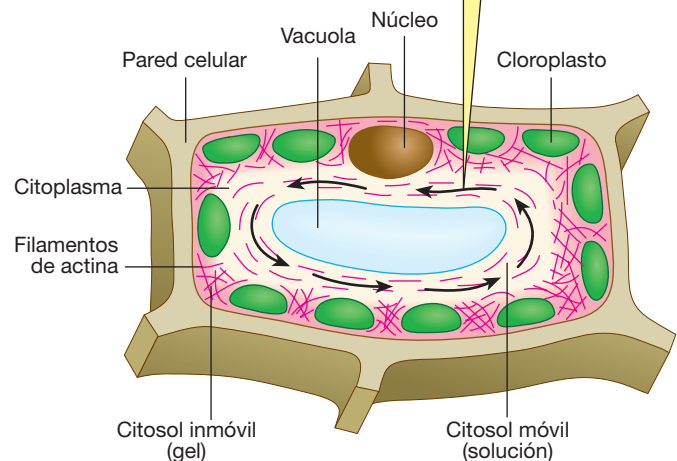


Fig. 3.4. Esquema de una célula vegetal en la que se observa el movimiento de ciclosis del citoplasma.

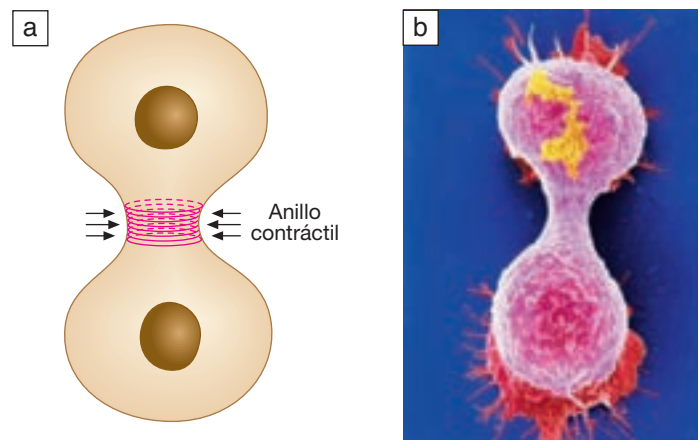


Fig. 3.5. a) Esquema del anillo contráctil de una célula en división. b) Micrografía de una célula en división.

Actividades

- La faloidina es un tóxico producido por el hongo *Amanita phalloides*, que se une específicamente a los microfilamentos y bloquea su despolimerización. La citocalasina es otra toxina producida por el hongo *Helminthosporium dematoidium* que bloquea la polimerización de microfilamentos a partir de los monómeros de actina. ¿Cómo quedarán los microfilamentos tras la acción de uno u otro tóxico? ¿Cómo se verá afectada la célula por la acción de dichos venenos?
- Un investigador necesita obtener actina para llevar a cabo una experiencia. Si trabaja con células hepáticas, ¿de qué zona de su citoplasma podrá conseguir mayor cantidad de esta proteína? Razónalo.
- Los filamentos de actina pueden formar en las células estructuras estables y estructuras lábiles. Cita ejemplos de ambas estructuras indicando su función en la célula.

4 LOS FILAMENTOS INTERMEDIOS

Los **filamentos intermedios** son fibras proteicas resistentes, parecidas a cuerdas, que **desempeñan una función estructural o mecánica en la célula**. Son muy abundantes en las células que están sometidas a importantes tensiones mecánicas, como es el caso de los epitelios, a lo largo de los axones de las células nerviosas y en todos los tipos de células musculares (fig. 4.1).

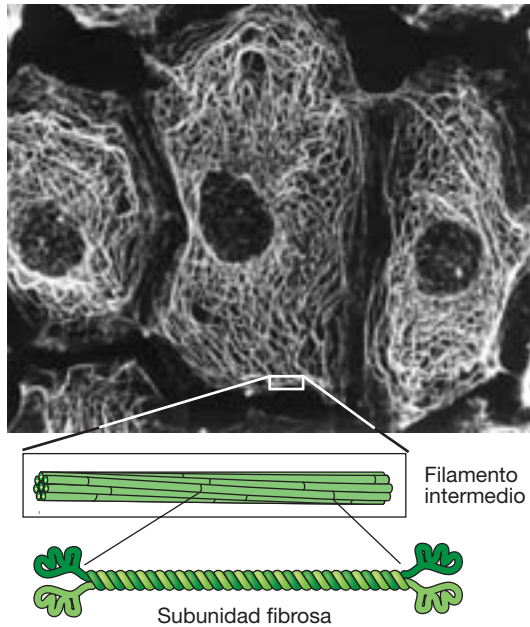


Fig. 4.1. Red de queratina de las células epiteliales de rata y detalle de un filamento intermedio.

Hay muchos tipos de filamentos intermedios, ya que varían según el tipo celular. Entre ellos están:

- Los **filamentos de queratina** de las células epiteliales. Estos filamentos forman una densa red en el interior de las células epiteliales y proporcionan a dichas células una gran parte de su fuerza mecánica.
- Los **neurofilamentos** de las células nerviosas, que se disponen a lo largo de las dendritas y del axón.
- Los **filamentos de vimentina** y otras proteínas relacionadas, como la desmina. La vimentina se encuentra en células de origen mesenquimático, como las del tejido conjuntivo y en los vasos sanguíneos y linfáticos; la desmina se encuentra en las células musculares.
- Los **filamentos de la lámina nuclear** que forman un armazón por debajo de la envoltura del núcleo.

5 LOS MICROTÚBULOS

Los **microtúbulos** son los principales componentes del citoesqueleto de las células eucarióticas. Pueden encontrarse dispersos por todo el citoplasma o bien formar estructuras estables tales como cilios, flagelos y centriolos. Los microtúbulos citoplasmáticos son estructuras dinámicas que pueden formarse y destruirse según las necesidades de la célula.

■ Estructura

Los microtúbulos están formados por moléculas de **tubulina**, cada una de las cuales es un dímero que consta de dos proteínas globulares, llamadas α -tubulina y β -tubulina. Los dímeros de tubulina se unen formando un protofilamento. Un microtúbulo consta de 13 protofilamentos paralelos que forman un cilindro hueco (fig. 5.1).

Asociadas a los microtúbulos hay numerosas proteínas. Algunas actúan estabilizando los microtúbulos y permitiendo su unión a otros componentes celulares. Otras denominadas **proteínas motoras** utilizan la energía del ATP para desplazar orgánulos a lo largo de los microtúbulos.

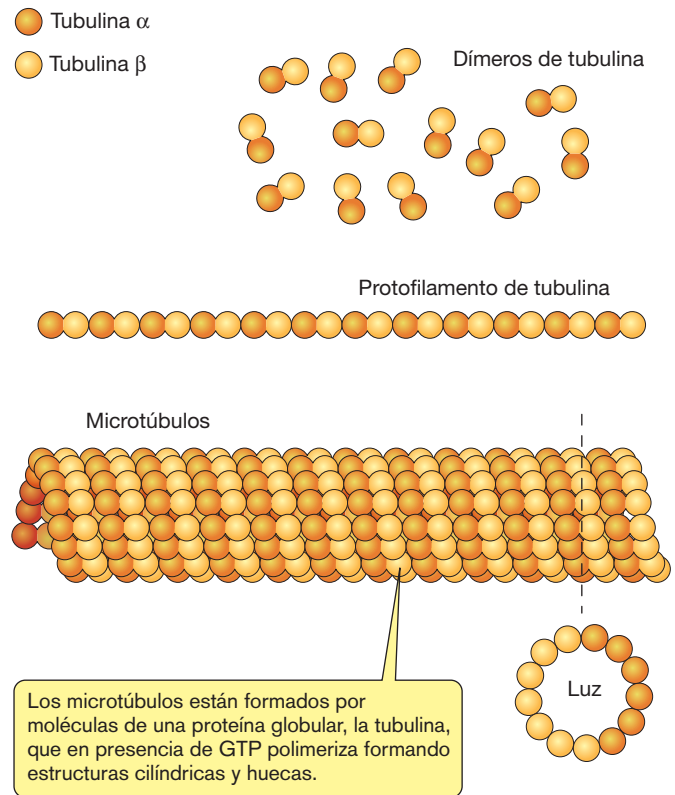


Fig. 5.1. Estructura de los microtúbulos.

■ Funciones

Entre las funciones de los microtúbulos destacan las siguientes:

- Son los principales **elementos estructurales y generadores del movimiento de los cilios y flagelos**.
- **Dirigen el transporte de orgánulos** en el citoplasma, ya que actúan como guías a lo largo de las cuales las **proteínas motoras** pueden desplazar vesículas y otros orgánulos.

En las neuronas, los microtúbulos están implicados en el **transporte axonal**; las proteínas motoras se fijan a los microtúbulos y transportan pequeñas vesículas

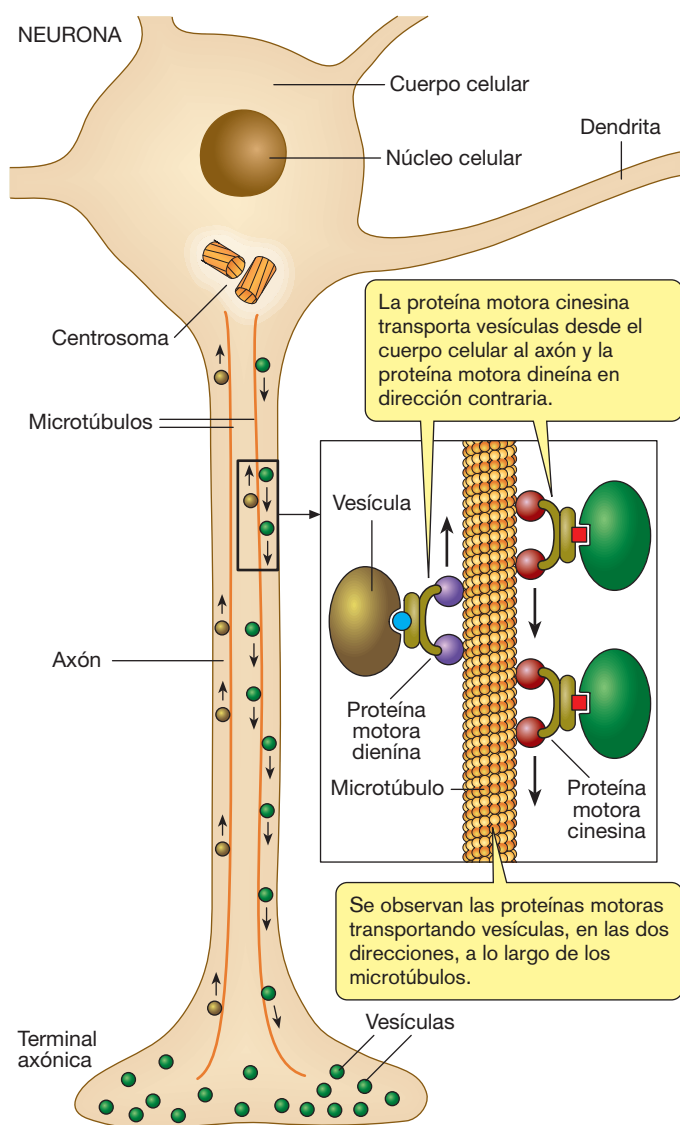


Fig. 5.2. Esquema de una neurona y del transporte axonal de vesículas.

rápidamente por el axón, en ambas direcciones, a lo largo de los microtúbulos (fig. 5.2).

Se ha observado también que las mitocondrias se desplazan por el citoplasma asociadas a los microtúbulos.

- **Constituyen el huso mitótico**. Al comienzo de la mitosis los microtúbulos citoplasmáticos forman el huso mitótico, el cual organiza el movimiento de los cromosomas separándolos en dos lotes y distribuyéndolos en las dos células hijas.
- **Determinan la forma y polaridad de la célula**. En las células alargadas los microtúbulos están alineados con el eje largo de la célula y, en la mayoría de los casos, su presencia es esencial para el mantenimiento de dicha forma. En las neuronas los microtúbulos se disponen a lo largo de los axones y dendritas formando una trama muy ordenada.
- **Disponen el retículo endoplasmático y el complejo de Golgi** en los lugares adecuados.
- **Intervienen en la organización de todos los filamentos del citoesqueleto**. Muchos microtúbulos irradian desde una región de la célula denominada "centro organizador de los microtúbulos" y participan en la distribución de los filamentos intermedios y de los filamentos de actina.

Actividades

- ¿Qué propiedades caracterizan a los filamentos de actina y a los microtúbulos? Relaciónalas con la función que desempeñan estos componentes del citoesqueleto.
- Señala las semejanzas y diferencias entre los filamentos de actina y los microtúbulos.
- El tratamiento de células con colchicina, un alcaloide venenoso del azafrán de otoño, inhibe los procesos celulares que dependen de los microtúbulos, incluyendo la mitosis. Da una explicación razonada sobre la acción de este veneno. Todos los microtúbulos, incluidos los de los cilios y flagelos, son estructuras dinámicas.
- Razona si son verdaderas o falsas las siguientes afirmaciones:
 - La tubulina requiere ATP para su polimerización.
 - El movimiento dirigido de las células está organizado por los microtúbulos en unas células y por los filamentos de actina en otras.
 - Los microfilamentos y los microtúbulos pueden formarse y destruirse rápidamente, mientras que los filamentos intermedios son estructuras estables.
 - La mayoría, si no todas, de las enzimas del citosol están unidas al citoesqueleto.

6 CILIOS Y FLAGELOS

Los **cilios** y los **flagelos** son prolongaciones móviles, de unos $0,25\ \mu\text{m}$ de diámetro, presentes en la superficie de muchos tipos de células. Su función es permitir el desplazamiento de una célula aislada a través de un líquido o desplazar el líquido extracelular sobre la superficie de la célula.

Los cilios son cortos y numerosos mientras que los flagelos son largos y escasos. Ambos **presentan la misma estructura pero diferente tipo de movimiento**.

Los protozoos utilizan los cilios tanto para su desplazamiento como para capturar partículas alimenticias (fig. 6.1). En los vertebrados, las células epiteliales del tracto respiratorio, utilizan los cilios para expulsar el mucus, junto con partículas de polvo o células muertas. Los cilios de las células que revisten las trompas de Falopio, ayudan a trasladar los óvulos desde los ovarios al útero. Los flagelos permiten el desplazamiento de los espermatozoides (fig. 6.2).

■ Estructura

En un cilio o flagelo se pueden distinguir las siguientes partes: el eje o axonema cuya flexión produce el movimiento del cilio o flagelo, la **zona de transición** y el **corpúsculo basal** (fig. 6.3).

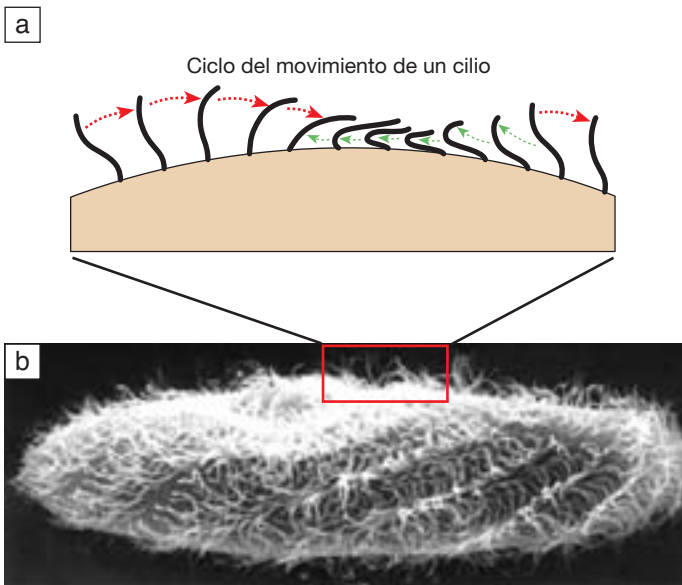


Fig. 6.1. a) El movimiento del cilio es semejante al de un látigo. b) Micrografía electrónica de barrido del protozoo *Paramecium*, en la que se observan los numerosos cilios.

- **Eje o axonema.** Está rodeado por la membrana plasmática y en su interior tiene 2 microtúbulos centrales y 9 pares o dobletes de microtúbulos periféricos orientados paralelamente al eje principal del cilio o del flagelo. **Esta estructura se denomina 9 + 2.** (fig. 6.3 a y c).

Los **microtúbulos centrales** son completos y están rodeados por una delgada vaina. Cada doblete periférico está formado por un **microtúbulo a** completo y un **microtúbulo b** incompleto. El microtúbulo a presenta, a intervalos regulares, **dos brazos formados por una proteína, la dineína**, que se dirigen hacia el microtúbulo b del par adyacente.

Cada doblete se une al adyacente mediante puentes formados por otra proteína, la **nexina**. Existen también **fibras radiales** que conectan cada doblete periférico con la vaina central.

- **Zona de transición.** Corresponde a la base del cilio o flagelo. El par de microtúbulos centrales se interrumpe y en su lugar aparece la placa basal.
- **Corpúsculo basal.** Está situado justo por debajo de la membrana plasmática y **presenta la misma estructura que los centriolos**. Es un orgánulo cilíndrico, de $0,2\ \mu\text{m}$ de diámetro y $0,4\ \mu\text{m}$ de largo, cuya pared está formada por nueve tripletes de microtúbulos. Los tripletes adyacentes están unidos mediante puentes, asegurando así la cohesión de la estructura centriolar. **Su estructura es 9 + 0** (fig. 6.3 a, b y d).

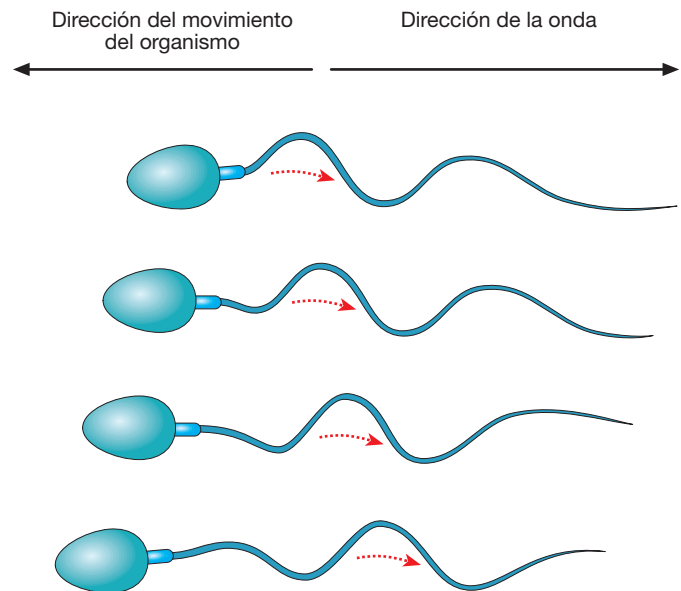


Fig. 6.2. Los flagelos impulsan a la célula mediante movimientos ondulatorios repetidos.

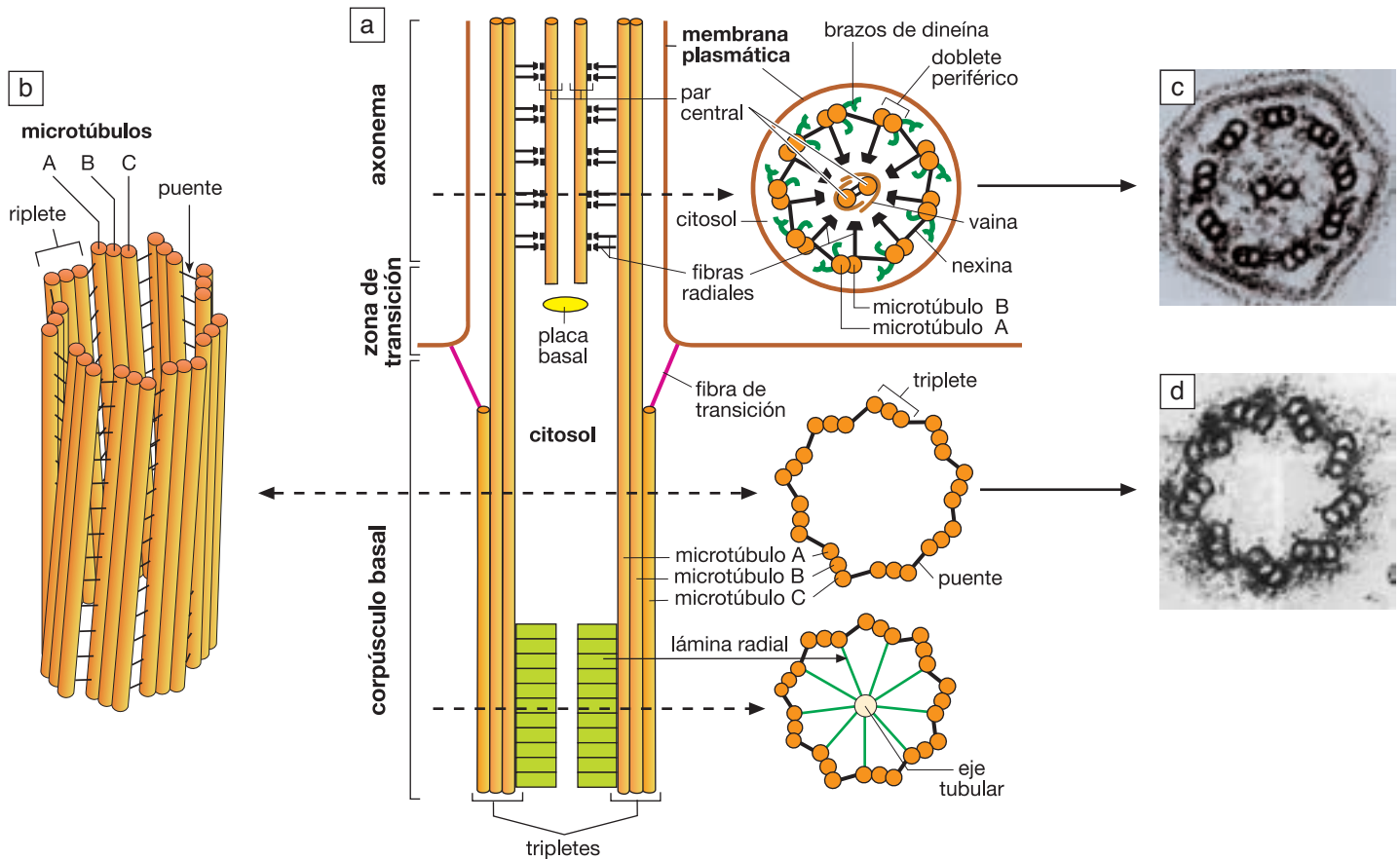


Fig. 6.3. Estructura de un cilio o flagelo. a) Esquema de un corte longitudinal y de varios cortes transversales. b) Esquema del corpúsculo basal. c) y d) Micrografías electrónicas de dos cortes transversales.

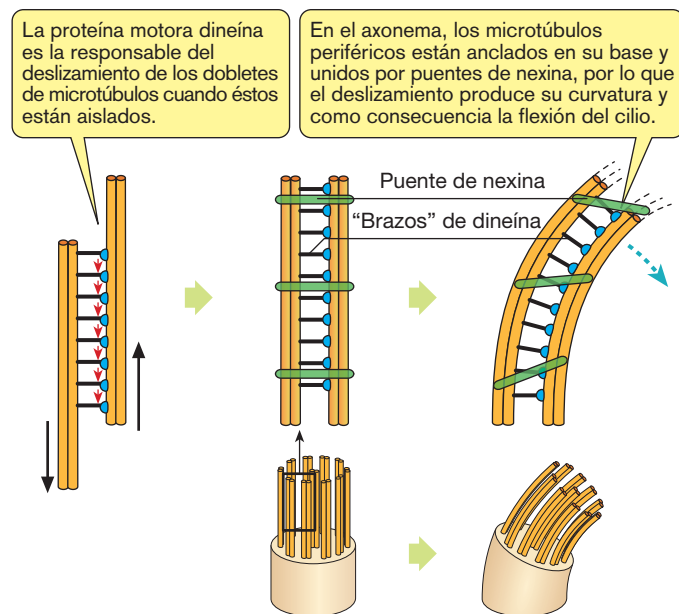


Fig. 6.4. Esquema que muestra el deslizamiento de los dobletes de microtúbulos adyacentes durante el batido de un cilio.

Movimiento

El movimiento del axonema se produce por el deslizamiento de unos dobletes periféricos con respecto a otros. **La dineína es una proteína motora responsable del deslizamiento.** En presencia de ATP, los brazos de dineína de un doblete contactan con el doblete adyacente y hacen que los dobletes se muevan uno respecto del otro (fig. 6.4).

Los puentes de nexina, muy elásticos, mantienen unidos los dobletes de microtúbulos y limitan su deslizamiento. Como resultado, el deslizamiento de los dobletes periféricos se convierte en la flexión del axonema.

Actividades

- Señala las semejanzas y diferencias entre los cilios y los flagelos.
- Observa en las figuras 6.3 c) y d), el corte transversal del axonema de un cilio y el de un corpúsculo basal e indica las diferencias entre ellos.

7 CENTROSOMA: CENTRO ORGANIZADOR DE MICROTÚBILOS

Localización y estructura

El **centrosoma** o **centro celular** se localiza al lado del núcleo y está formado por dos estructuras cilíndricas, denominadas **centríolos**, dispuestas perpendicularmente entre sí y rodeadas por un material amorfo, denominado **material pericentriolar**. Los microtúbulos citoplasmáticos tienden a irradiar en todas direcciones a partir del centrosoma (figs. 7.1).

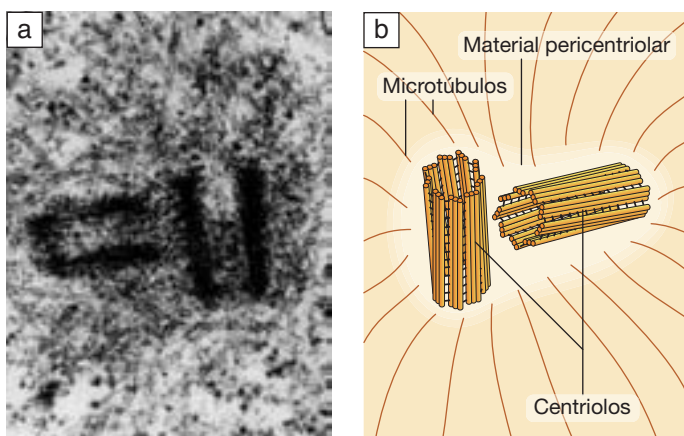


Fig. 7.1. a) Micrografía electrónica de un centrosoma. b) Esquema del centrosoma

Los **centríolos** y los **corpúsculos basales** de los cilios y flagelos presentan la misma estructura (véase apartado 6) y son interconvertibles ya que pueden pasar de ocupar el interior del centrosoma a la base de un cilio.

Los centríolos se forman por duplicación de los centríolos preexistentes. Primero se separan los dos centríolos del centrosoma y a continuación se forma un centríolo hijo perpendicular a cada centríolo original.

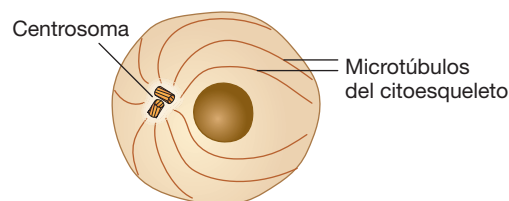
A excepción de los vegetales, todas las células eucarióticas tienen un par de centríolos que forman parte del centrosoma.

Función

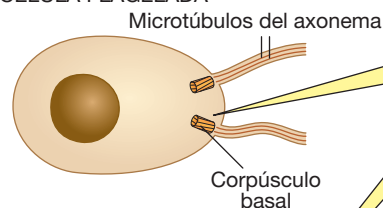
El **centrosoma** es el **centro organizador de microtúbulos**, ya que actúa como núcleo de formación a partir del cual crecen los microtúbulos. Durante la interfase organiza los microtúbulos citoplasmáticos y durante la mitosis se encarga de la disposición de los microtúbulos del huso mitótico. En estos dos casos, los microtúbulos crecen a partir del material asociado a los centríolos, denominado **material pericentriolar**.

Los corpúsculos basales también actúan como centros organizadores de microtúbulos ya que intervienen en la formación del axonema de los cilios y flagelos. Así, durante la formación o regeneración de los cilios, los microtúbulos del axonema crecen directamente a partir de los del corpúsculo basal (fig. 7.2).

A) CÉLULA EN INTERFASE

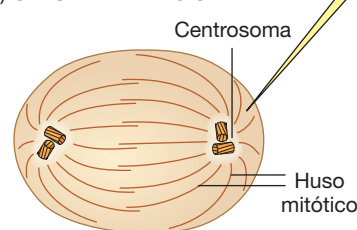


B) CÉLULA FLAGELADA



Los centríolos actúan como corpúsculos basales organizando los axonemas de los flagelos y pueden formar parte del centrosoma.

C) CÉLULA EN DIVISIÓN



D) CÉLULA NERVIOSA

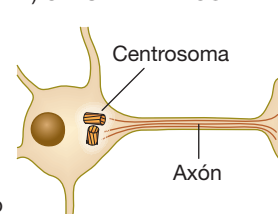


Fig. 7.2. Los microtúbulos parten de los centríolos o de los corpúsculos basales.

No todos los centros organizadores de microtúbulos contienen centríolos; en las células de los vegetales superiores, los microtúbulos del huso mitótico parten de una región difusa (mal definida) que carece de centríolos.

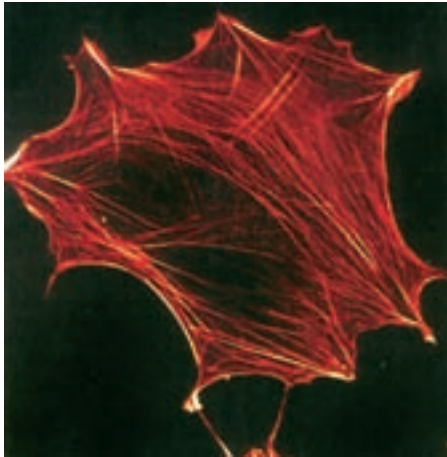
Actividades

- ¿Cómo se produce el movimiento de los cilios y flagelos? ¿Tiene algo que ver con el movimiento de contracción muscular?
- Señala las semejanzas y diferencias entre el corpúsculo basal y el centríolo. ¿Qué relación existe entre ellos?
- ¿Cuál es el centro organizador de microtúbulos más importante de las células animales? ¿Qué otros centros organizadores de microtúbulos puede haber en las células animales? ¿De qué lugar de los centros organizadores parten los microtúbulos?

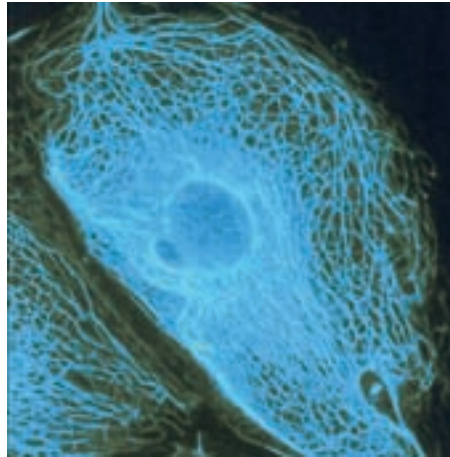
Citoesqueleto

COMPONENTES

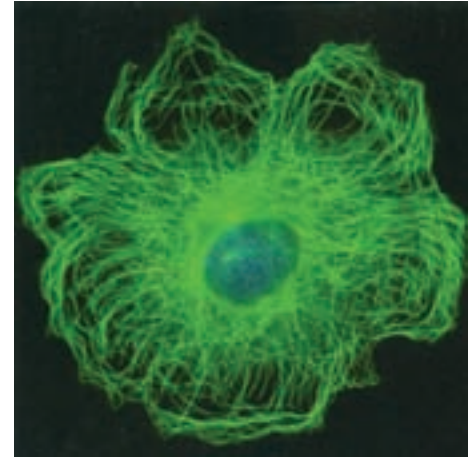
MICROFILAMENTOS



FILAMENTOS INTERMEDIOS



MICROTÚBULOS



DIÁMETRO

7 nm

10 nm

25 nm

ESTRUCTURA

Son filamentos dobles helicoidales formados por la proteína globular **actina**.

Están formados por proteínas fibrosas enrolladas en forma de cuerdas. Estas proteínas varían según el tipo de célula.

Son tubos huecos formados por la proteína globular **tubulina**.

CARACTERÍSTICAS

Son estructuras dinámicas y presentan polaridad.

Son estructuras de resistencia.

Son estructuras dinámicas y presentan polaridad.

FUNCIONES

Funciones estructurales y movimientos:

- Mantenimiento de la forma de la célula.
- Movimiento mediante pseudópodos.
- Contracción muscular.
- Corriente citoplasmática.
- División celular.

Sólo funciones estructurales:

- Mantenimiento de la forma de la célula.
- Resisten la tensión.
- Forman la lámina nuclear.

Funciones estructurales y movimientos:

- Mantenimiento de la forma de la célula.
- Movimiento mediante cilios y flagelos.
- Movimiento de orgánulos.
- Movimiento de los cromosomas.
- Guías para el transporte de sustancias.

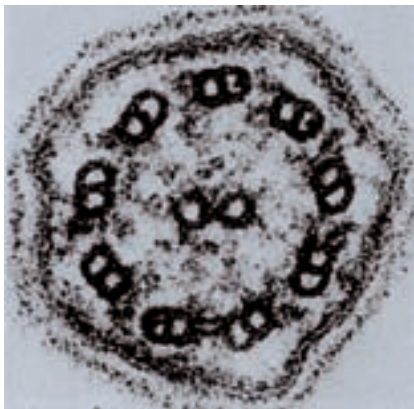
Las células contienen una red de fibras sólidas y tubos huecos, de naturaleza protéica, que se entrecruzan y se unen formando una especie de andamiaje o armazón interno denominado **citoesqueleto**. Se trata de una estructura dinámica que se encarga de crear y mantener un elevado nivel de organización en el citoplasma, contribuyendo además a la forma y movimiento de la célula.

- 1 Establece las semejanzas y diferencias entre los tres tipos de fibras que componen el citoesqueleto.
- 2 ¿Qué relación hay entre el citosol y el citoesqueleto?
- 3 Relaciona los términos: cilios, flagelos y centríolos. ¿En qué función biológica están implicados?
- 4 a) Completa en tu cuaderno el siguiente cuadro, indicando el tipo de fibra del citoesqueleto que predomina en cada caso:

	Microfilamentos	Filamentos intermedios	Microtúbulos
Microvellosidades			
Axonema de un cilio			
Córtex o corteza celular			
Axón de una neurona			
Huso mitótico			
Lámina nuclear			
Pseudópodos			
Célula muscular			
Célula epitelial			

b) Indica la función que desempeñan los filamentos del citoesqueleto que predominan en cada una de las partes de la célula o de los tipos de células citados en la tabla.

- 5 Cita ejemplos de células que presenten cilios y de otras con flagelos, indicando la función que desempeñan estos orgánulos en cada tipo de células.
- 6 Observa la siguiente micrografía electrónica de un corte transversal de un flagelo:

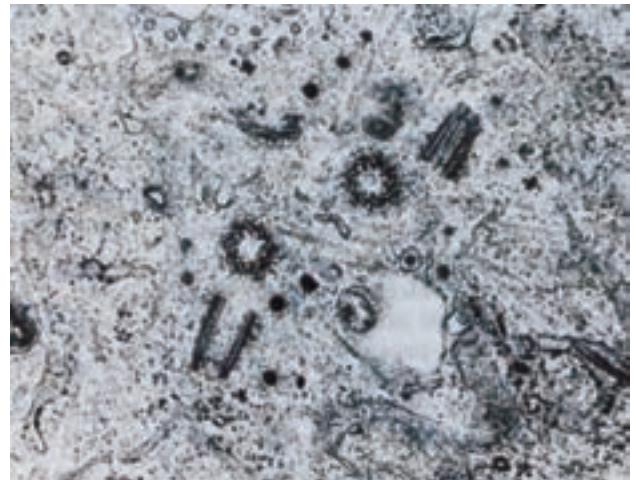


a) Haz un dibujo de la micrografía anterior y señala en él los siguientes componentes de un flagelo: microtúbulo a, microtúbulo b, brazo interno de dineína, brazo

externo de dineína, vaina interna, nexina, fibra radial y microtúbulo completo.

- b) ¿Qué estructuras están formadas por tubulina?
- c) ¿Cuáles de las estructuras anteriores, si hay alguna, son continuas con los componentes del corpúsculo basal?

- 7 ¿Es indispensable el centrosoma para la organización de los microtúbulos durante la división celular?
- 8 ¿Por qué los inhibidores de la actina afectan a la división celular?
- 9 En las células cancerosas el citoesqueleto está alterado. ¿Cómo se verán afectadas por este hecho dichas células?
- 10 ¿Sería correcto decir que el centrosoma dirige la organización de todo el citoesqueleto? Razona tu respuesta.
- 11 Observa la siguiente micrografía electrónica e indica qué estructuras se observan. ¿Cómo se han formado dichas estructuras?



- 12 Durante el proceso de extracción y aislamiento de las enzimas citosólicas, generalmente se rompen las células en presencia de sacarosa 0.2 M para evitar el hinchamiento osmótico y la explosión de los orgánulos intracelulares. Si las enzimas que se quieren obtener se hallan en el citosol, ¿por qué se evita dañar a los orgánulos?
- 13 Los individuos que, debido a un problema genético, tienen defectuosa la dineína presentan una tos característica y son estériles. ¿Cuál es la base molecular para estos síntomas clínicos? Razónalo.

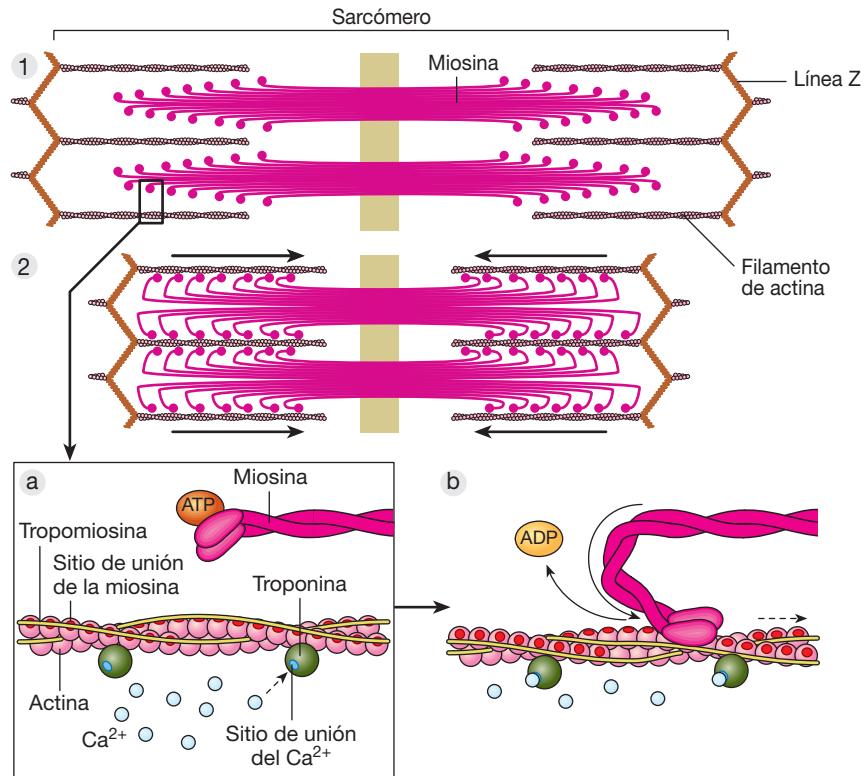
La contracción muscular

El **músculo estriado** está formado por células cilíndricas, llamadas **fibras musculares** que miden varios centímetros de largo y 50 μm de diámetro. Cada fibra muscular está envuelta por una membrana eléctricamente excitable y contiene **miofibrillas** que se extienden a lo largo de toda ella.

En las miofibrillas se observan una serie de bandas transversales, claras (I) y oscuras (A), que le confieren su apariencia estriada; están formadas por unidades repetitivas denominadas **sarcómeros**, que contienen dos grupos de filamentos paralelos y parcialmente superpuestos, unos gruesos y otros delgados.

Los filamentos delgados están formados por **actina** y por otras dos proteínas, la troponina y la tropomiosina. Los filamentos gruesos están formados por varios centenares de moléculas de **miosina**, una **proteína motora**. Cada molécula de miosina es un dímero formado por dos moléculas idénticas y tiene dos cabezas globulares y una cola en espiral. Las cabezas globulares tienen actividad ATPasa.

La **contracción** de la célula muscular se produce por el acortamiento simultáneo de todos los sarcómeros que, a su vez, **se debe al deslizamiento de los filamentos de actina sobre los filamentos de miosina**, sin que se modifique la longitud de dichos filamentos. El deslizamiento se genera cuando las cabezas de miosina que se pro-



yectan hacia fuera del filamento grueso interactúan con los filamentos de actina próximos.

Cuando un músculo recibe un estímulo contráctil, las cabezas de miosina comienzan a desplazarse a lo largo del filamento de actina en **ciclos repetidos de unión y separación**.

Durante cada uno de los ciclos, una cabeza de miosina se une a una molécula de ATP y la hidroliza. Este proceso induce un cambio de conformación en la molécula de miosina que hace que se desplace el extremo de su cabeza

alrededor de 5 nm a lo largo del filamento de actina (hacia el extremo más). Este desplazamiento se repite con cada ciclo de hidrólisis del ATP y los filamentos de actina y de miosina se deslizan unos sobre otros sin acortarse.

La contracción muscular se inicia cuando una señal procedente del nervio pasa al músculo y se produce un aumento repentino de Ca^{2+} en el citosol; estos iones Ca^{2+} son liberados de las cisternas del retículo sarcoplasmático (una región especializada del RE).

Cuestiones

- 1 ¿Qué función tienen las proteínas motoras? Cita ejemplos de este tipo de proteínas.
- 2 ¿Qué significa que las cabezas de miosina tienen actividad ATPasa?
- 3 Describe ordenadamente los procesos que tienen lugar en el músculo cuando recibe una señal del sistema nervioso.