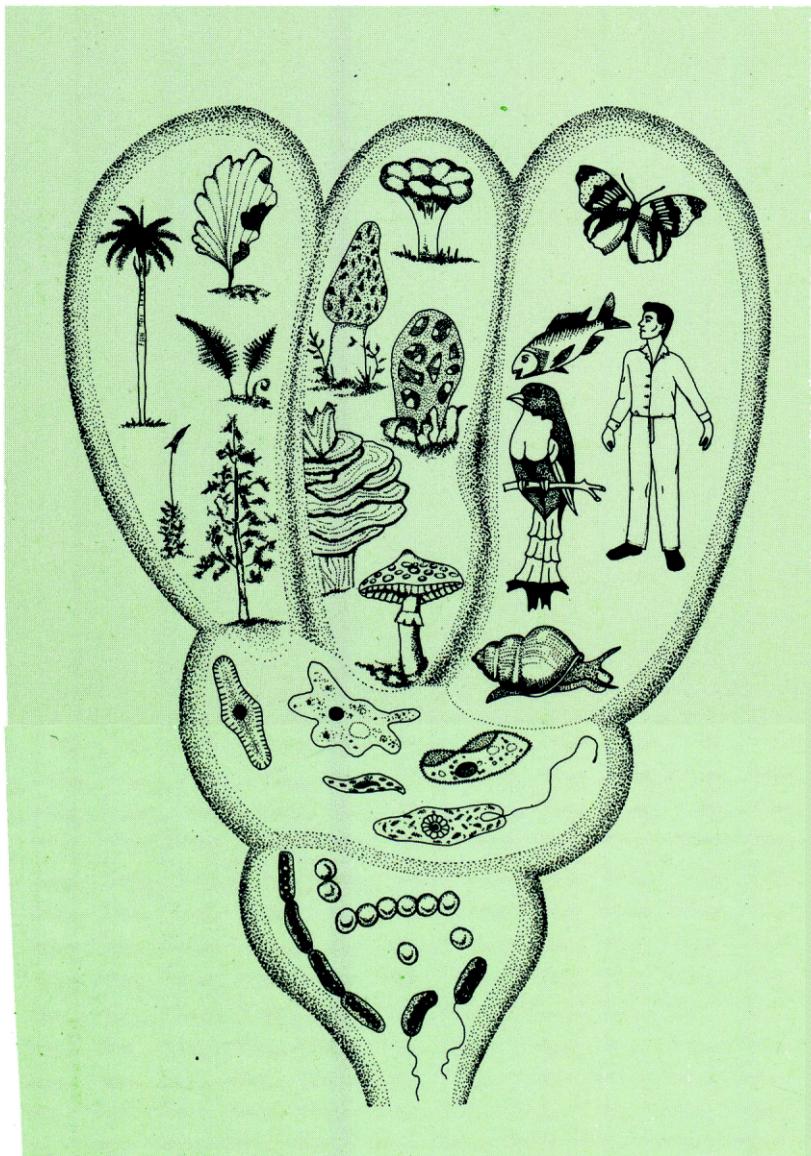


LIBRO DE DISTRIBUCIÓN GRATUITA. PROHIBIDA SU VENTA



# Biología 4

11º grado

Parte 2

# BIOLOGÍA 4

Onceno grado

Parte 2

Dr. Rolando Juan Portela Falgueras  
Lic. Raquel Rodríguez Artau  
Lic. Ana Leiva González  
Lic. María Luisa Sánchez Paz  
Prof. Maritza Rosales Fajardo  
Lic. Alina Rivero Fernández  
Prof. Ana A. Monserrate Rodríguez  
Prof. Madeline Carol Escobar  
Prof. Delfín L. Marrero Roque  
Prof. Martha Cabrales Suárez



Editorial  
Pueblo y Educación

Edición: Ing. Mayra Valdés Lara  
Diseño: Bienvenida Díaz Rodríguez  
Ilustración de cubierta: María Elena Duany Alayo  
Ilustración: Martha María González Arencibia  
Luis Bestard Cruz  
María Elena Duany Alayo  
Ángel García Castañeda  
Corrección: Magda Dot Rodríguez  
Esmeralda Ruiz Rouco  
Emplane: María de los Ángeles Ramis Vázquez

- © Oncena reimpresión, 2018
- © Primera reimpresión, 2005
- © Segunda edición corregida y aumentada, 2004
- © Ministerio de Educación, Cuba, 1990
- © Editorial Pueblo y Educación, 1990

ISBN 978-959-13-0752-7 Obra completa  
ISBN 978-959-13-0994-5 Parte 2

EDITORIAL PUEBLO Y EDUCACIÓN  
Ave. 3ra. A No. 4601 entre 46 y 60.  
Playa, La Habana, Cuba. CP 11300.  
epe@enct.cu

## AGRADECIMIENTO

Este libro es el fruto del esfuerzo conjunto de un colectivo de autores, integrado por profesores del ISP Enrique José Varona y el IPVCE Vladimir Ilich Lenin, y metodólogos del Ministerio de Educación. Se mantienen los autores de la parte correspondiente al nivel de organismo de la edición anterior, ya que se han preservado algunas partes de su contenido, sabías que, tareas y actividades prácticas, teniendo en cuenta que mantienen su actualidad, valor didáctico y están en concordancia con el enfoque de este nuevo texto.

El libro constituye la segunda parte y final de la asignatura Biología 4, iniciada en el décimo grado del nivel preuniversitario de la Educación General Politécnica y Laboral. De hecho, surge por la necesidad de actualizar el texto de oncenno grado y hacerlo corresponder con los cambios introducidos desde hace algunos años en el programa de dicha asignatura. En su elaboración hemos tenido en cuenta que los capítulos y epígrafes se correspondan con las diferentes temáticas previstas en el programa; no obstante, en algunos casos se modifica el orden de los contenidos y se incorporan otros, para lograr una mejor comprensión de los diferentes temas.

Las orientaciones para la realización de las actividades prácticas son el resultado de una investigación desarrollada por el Dr. José Zilberstein Toruncha, del Instituto Central de Ciencias Pedagógicas, y contó con la colaboración de los profesores Juan F. Otero Fernández y Felipe Lara Hernández. En algunos epígrafes del capítulo 8, se tomó como referencia el contenido de algunos temas de los folletos *Hacia una sexualidad responsable y feliz*, de la colección "Para maestros y maestras", correspondientes a Secundaria Básica y Preuniversitario.

Agradecemos las sugerencias brindadas por profesores y metodólogos de las provincias Holguín, La Habana y Ciudad de La Habana. De igual forma, agradecemos la participación del Dr. Roberto Jardín Mustelier, metodólogo del equipo de preuniversitario de la Dirección Provincial de Educación de Santiago de Cuba, por los criterios aportados acerca de algunos capítulos del texto y por facilitarnos algunas de las representaciones gráficas. Quisiéramos expresar nuestra más profunda gratitud a todos los que han enriquecido esta obra con sus señalamientos y sugerencias.

*Los autores*

## AL ALUMNO

Esta nueva edición constituye el texto de la segunda parte de la asignatura Biología 4, correspondiente al grado oncenso de la Educación General Politécnica y Laboral, que sienta las bases para el de la asignatura Biología 5 en el duodécimo grado. Está estructurado en: introducción, cuatro capítulos y conclusiones, que tratan diferentes temas relacionados con el nivel de organismo. Los capítulos son la continuación de los estudios concernientes al nivel celular, de décimo grado, por lo que siguen la numeración consecutiva y la secuencia lógica de la primera parte de este libro.

En el capítulo 5, primero de esta parte, conocerás los fundamentos básicos del nivel de organismo. Por su carácter generalizador, su contenido servirá de base para el resto de los capítulos. En el mismo se retoman y tienen en cuenta los conocimientos, que acerca de las bases moleculares de la vida y los niveles de organización de la materia, fueron estudiados en el primer capítulo de la primera parte, y se profundiza en las características especializadas de los tejidos, los órganos y sistemas de órganos de los organismos. Sobre esta base, también se profundiza y amplía el concepto de organismo como un todo, estudiado en el nivel de secundaria básica, al analizarse las características de estructura y función que le dan unidad a los organismos y presentarse sus funciones características: regulación, funciones vegetativas y reproducción.

En el capítulo 6 podrás estudiar las características generales de la regulación, así como aspectos fundamentales de la evolución de esta función en los microorganismos, las plantas y los animales. Se profundiza en los diferentes mecanismos de regulación que contribuyen a la conservación del equilibrio del medio interno de los organismos y, en particular, se amplían los conocimientos relativos a los mecanismos de regulación nerviosa, endocrina y neuroendocrina, que estudiaste en grados anteriores.

El capítulo 7 está dedicado al análisis de las funciones vegetativas. Mediante su lectura, conocerás ejemplos de las adaptaciones surgidas en el proceso evolutivo y profundizarás en la relación estructura-función de la nutrición, el transporte de sustancias, la respiración y la excreción de los organismos, así como sus relaciones con el metabolismo celular y el medio ambiente, sobre la base de algunos conocimientos fundamentales para su comprensión, estudiados en los capítulos 1, 3 y 4, de décimo grado, y de los capítulos 5 y 6 de oncenso.

El capítulo 8 trata la reproducción en los organismos. Aquí podrás profundizar en las características de la reproducción de organismos de diferentes reinos y ampliar los conocimientos relativos a los aspectos biológicos y sociales de la reproducción en la

especie humana. En este estudio, se destaca el análisis de las peculiaridades de la sexualidad humana, así como de los retos y perspectivas de su ejercicio pleno y responsable.

Al final de cada capítulo aparecen las prácticas de laboratorio que te serán de utilidad e interés, por las posibilidades que ofrecen para aplicar los conocimientos aprendidos. Estas actividades podrás reconocerlas por una lupa, viñeta que te permite identificarlas.

En el contenido aparecen insertados los sabías que..., los cuales te ofrecen informaciones interesantes y curiosas sobre los temas tratados.

Al igual que en la parte 1, se ha tratado que las tareas que aparecen al final de cada epígrafe, te posibiliten el autocontrol de lo aprendido y te permitan consolidar los conocimientos y habilidades que se integran en el contenido de cada capítulo. Se mantiene la misma viñeta del signo de interrogación para identificarlas en el texto.

Al final del libro, también se incluye un vocabulario en el que aparecen algunos términos biológicos y bioquímicos que te permitirán una mejor comprensión de los diferentes temas. Del mismo modo que en la primera parte, para su mejor identificación, estos términos se han señalado con un asterisco (\*).

Esperamos que esta obra contribuya a enriquecer tus conocimientos biológicos; de ser así, estaremos muy satisfechos por haber contribuido a tu preparación como estudiante.

*Los autores*

## **INTRODUCCIÓN / 115**

### **5 FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL NIVEL DE ORGANISMO / 120**

De los organismos unicelulares a los pluricelulares / 120

De las células a los tejidos. La especialización como resultado de la diferenciación celular / 123

De los tejidos a los órganos y sistemas de órganos / 138

El organismo como un todo. Funciones características de un organismo / 145

**Práctica de laboratorio 1 / 152**

### **6 REGULACIÓN DE LAS FUNCIONES / 154**

Características generales de la función de regulación de los organismos / 154

Regulación en plantas / 156

Regulación nerviosa / 164

Regulación endocrina y neuroendocrina / 180

### **7 FUNCIONES VEGETATIVAS / 194**

Nutrición / 194

Transporte de sustancias en los organismos / 211

Respiración / 231

Excreción / 249

Regulación de las funciones vegetativas / 258

**Práctica de laboratorio 2 / 260**

### **8 REPRODUCCIÓN / 266**

La división celular por mitosis y meiosis como base de la reproducción de los organismos / 266

Reproducción asexual / 270

Reproducción sexual / 275

Características de la reproducción y la sexualidad humanas / 288

**Práctica de laboratorio 3 / 319**

## **CONCLUSIONES / 321**

Unidad e integridad del organismo / 321

## **VOCABULARIO / 324**

## INTRODUCCIÓN

El estudio de la primera parte de *Biología 4* nos ha permitido conocer que la biología tiene como objeto de estudio el *movimiento biológico*; que es el que caracteriza a todos los niveles representativos de la vida: \* las *células*, los *organismos*, las *poblaciones*, las *comunidades* y la *biosfera*. Como sabemos, todos ellos presentan características de unidad que los hacen diferentes de la materia no viva, como son: *la presencia de biomoléculas, que constituyen sus estructuras y que permiten el metabolismo; el intercambio continuo y regulado de sustancias, energía e información con el medio ambiente y el proceso de reproducción, que tiene como resultado su conservación en el tiempo y en el espacio.*

Basándonos en la observación de la figura 1, podemos recordar que los niveles bióticos de organización de la materia que hemos mencionado presentan una complejidad

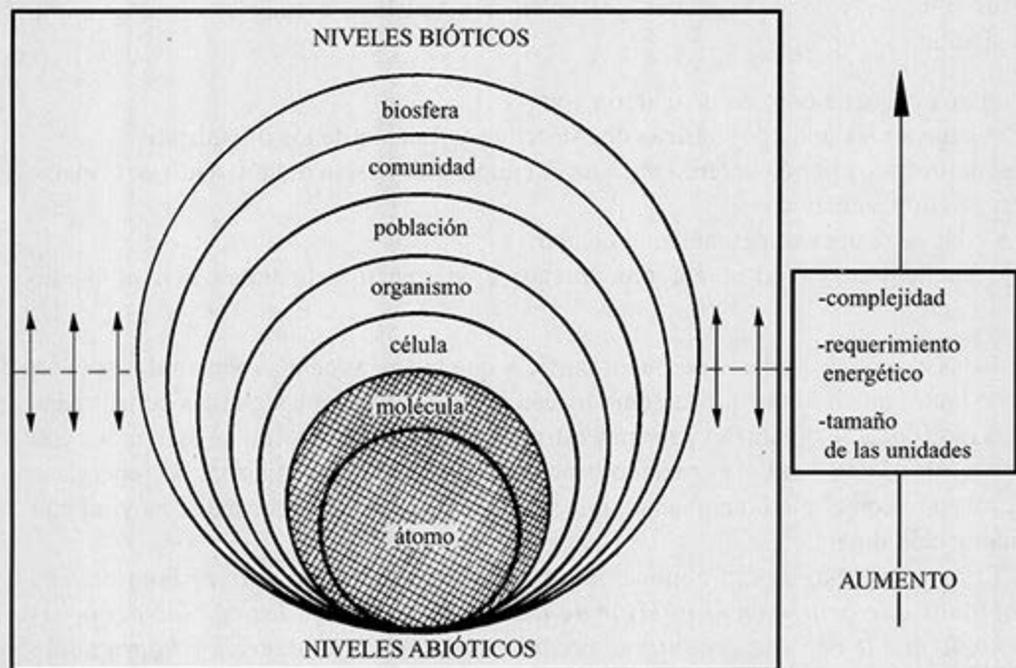


Fig. 1 Representación de los niveles de organización de la materia viva y su relación con los niveles abióticos.

mayor y cualidades nuevas, respecto a los niveles inferiores, incluyendo los niveles abióticos, aunque los contienen y, a su vez, forman parte de los niveles superiores a los cuales se subordinan. De igual forma podemos observar que los niveles de organización de la materia viva tienen un requerimiento energético y unidades de mayor tamaño que los niveles abióticos.

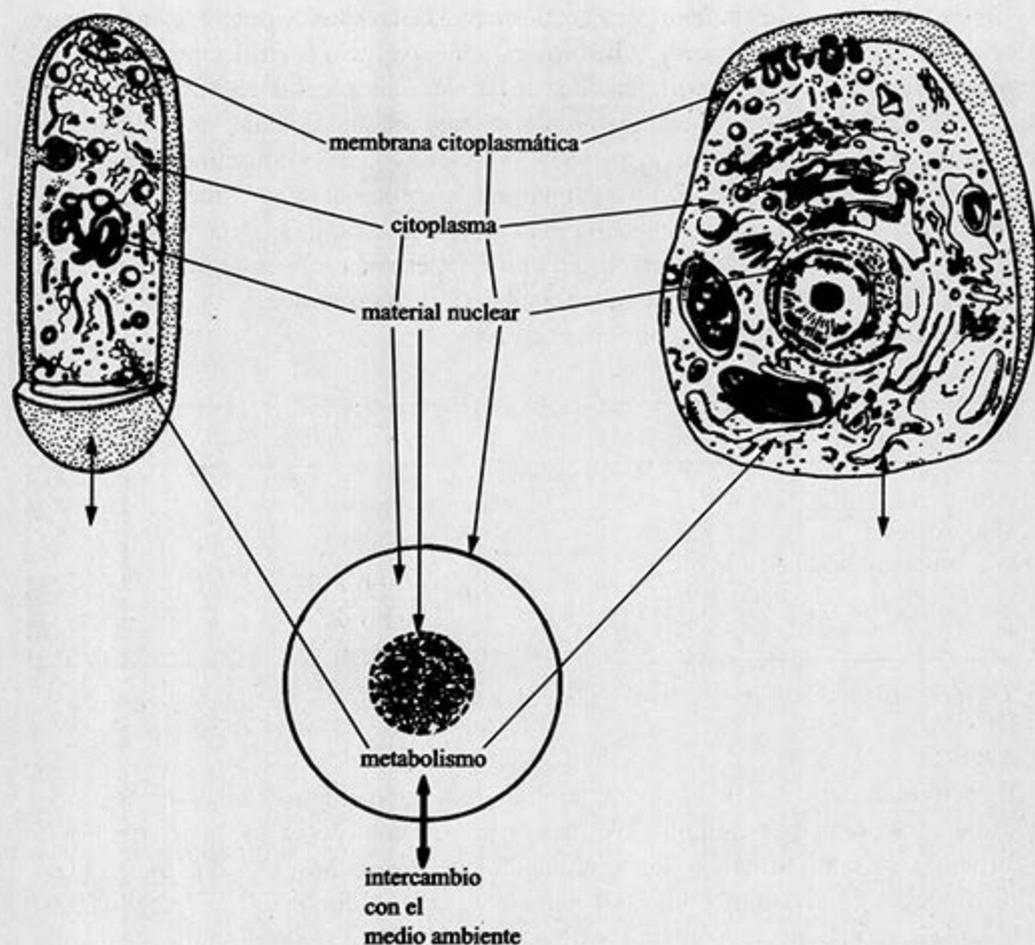
En décimo grado aprendimos que el nivel celular, en particular, está constituido por sistemas biológicos de gran dinamismo: las *células*, en las que se producen constantes transformaciones energéticas y en las que un sinnúmero de moléculas de proteínas, ácidos nucleicos, carbohidratos, lípidos, entre otras, se presentan asociadas de acuerdo con determinadas características y, aunque mantienen su estructura, establecen un complejo sistema de relaciones e interacciones que forman un todo integrado en unidad morfofuncional, más complejo y cualitativamente superior que los representantes del nivel molecular que le anteceden.

Recordemos que el *nivel celular* está representado por las células *procariotas* y *eucariotas* y que entre estos tipos o patrones celulares hay una gran diversidad, dadas las diferencias existentes en cuanto a la presencia de envoltura nuclear, la organización estructural del citoplasma, la presencia de orgánulos citoplasmáticos y el lugar en que ocurren los procesos metabólicos. No obstante, el estudio del nivel celular nos permitió comprobar que en este nivel de organización de la materia existe una gran unidad, ya que todas las células, tanto las procariotas, como la diversidad de células eucariotas de los animales y de los vegetales, presentan características esenciales comunes como las siguientes (fig. 2):

- Son una pequeña porción de materia viva.
- Constituyen las unidades básicas de estructura y función de los organismos.
- Están formadas por el material nuclear, el citoplasma y están delimitadas por la membrana citoplasmática.
- En ellas se realiza el metabolismo celular.
- Se encuentran en constante movimiento e interacción dinámica con el medio ambiente.

Estas características nos permiten ratificar que todas las células son unidades vivas y, por tanto, mucho más que la suma mecánica de las moléculas que las constituyen. Estas moléculas se organizan y forman estructuras que se integran en un todo único con nuevas cualidades, como el metabolismo y el intercambio de sustancias, energía e información con el medio ambiente, que son la expresión de su constante movimiento e interacción dinámica.

El *metabolismo*, como conocemos, es el conjunto de reacciones bioquímicas acopladas que ocurre en el interior de todas y cada una de las células del organismo, lo que le permite el continuo recambio de sustancia, energía e información y, por tanto, el mantenimiento de la vida. Ya estudiamos que estas reacciones metabólicas son reguladas enzimáticamente y tienen como resultado la degradación o la síntesis de sustancias, en dependencia de lo cual, hablamos de *metabo-*



**Fig. 2** Representación esquemática de las características esenciales que le dan unidad a las células, en su gran diversidad.

*lismo de degradación o catabolismo, o metabolismo de síntesis o anabolismo, respectivamente.*

Estas reacciones catabólicas y anabólicas mantienen una estrecha relación en el interior de las células. Como se observa en la figura 3, los productos de unas pueden constituir precursores de otras, como parte de las interrelaciones existentes entre procesos tan importantes como la respiración aerobia u otros procesos degradativos, y la fotosíntesis o la síntesis de proteínas y de otros compuestos. Si además, tenemos en cuenta, que en las células continuamente entran sustancias necesarias en el desarrollo de estas reacciones y salen otras de desecho, y que en el interior de ellas, las sustancias se transforman constantemente como resultado de estas reacciones, es evidente que las células son unidades vivas que se caracterizan por un gran dinamismo (fig. 3).

El *dinamismo celular* también se manifiesta por las interrelaciones existentes entre las estructuras celulares. Si recordamos los estudios realizados en décimo grado, podremos ratificar que entre los componentes de las estructuras celulares se mantiene una estrecha dependencia en el funcionamiento de las células, además de su continuo recambio y movimiento. Esto se manifiesta, por ejemplo, en el constante intercambio y transferencia que se establece entre las membranas del retículo endoplasmático rugoso y las del retículo endoplasmático liso y el complejo de Golgi. De igual forma se establece una estrecha relación e intercambio entre este sistema de endomembranas con otros orgánulos citoplasmáticos y con la membrana citoplasmática, lo que asegura que estas estructuras se reemplacen constantemente.

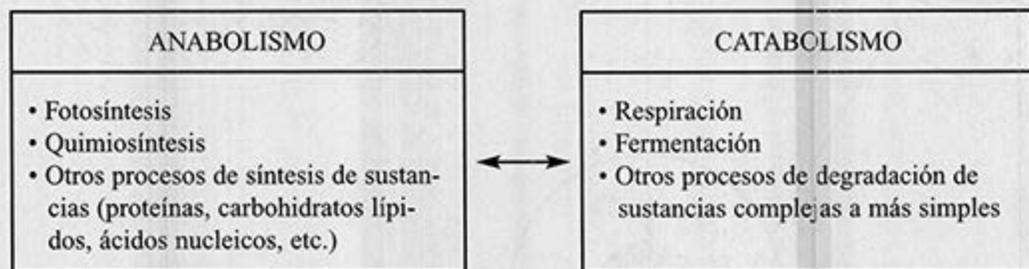


Fig. 3 Representación esquemática de las relaciones existentes entre los procesos metabólicos celulares.

La actividad dinámica de la célula, también se pone de manifiesto en otros procesos estudiados como, por ejemplo, los mecanismos de transporte que ocurren a través de la membrana citoplasmática, los movimientos de los cromosomas que tienen lugar en los procesos de división celular por *mitosis* y *meiosis*, durante el ciclo celular, así como en la gran actividad enzimática y de otras moléculas propias del funcionamiento celular. Estos ejemplos, como el resto, evidencian la gran integridad y unidad que caracterizan al nivel celular.

Tanto en los representantes de las células procariotas: las bacterias y cianobacterias, como en organismos que poseen estructura celular eucariota, como por ejemplo, la ameba, el paramecio, la euglena, entre otros protistas, ocurre el metabolismo y se manifiesta el dinamismo como hemos explicado. Estos son ejemplos del nivel celular, pero al estar constituidos por una sola célula, que por sí misma realiza todos los procesos y funciones que le aseguran la vida, como unidades íntegras e independientes, también son representantes del nivel de organismo. Como conocemos, estos son ejemplos de organismos unicelulares en los que coincide el nivel celular con el de organismo.

Durante el proceso evolutivo, en algunas poblaciones de otros organismos unicelulares eucariotas que existieron hace millones de años, ocurrieron transformaciones evolutivas que propiciaron el gradual aumento de complejidad de la materia viva y el surgimiento y la evolución de la pluricelularidad. En la medida que las células se fueron diferenciando y especializando gradualmente en la realización de funciones específi-

cas y se formaron los *tejidos, órganos y sistemas de órganos*, integrados por muchas células, los organismos alcanzaron un mayor nivel de complejidad. En estos organismos pluricelulares, cada una de sus células, aun cuando mantienen sus características como tales y realizan las funciones que mantienen su vida, tienen funciones específicas debido a la especialización.

Como resultado del proceso evolutivo, se estableció la gran diversidad de organismos que se clasifican en los reinos: Móneras, Protistas, Hongos, Plantas y Animales, los que conforman el nivel de organización de la materia que estudiaremos en este grado: *el nivel de organismo*.

Las funciones que ocurren a nivel celular se manifiestan en el organismo como un todo. El estudio del metabolismo en el organismo incluye las funciones de nutrición, transporte de sustancias, respiración y excreción, así como su regulación. La reproducción es otra función característica de los organismos relacionada con el metabolismo.

En esta parte del texto podremos profundizar en las características principales de la relación estructura-función de los organismos y en su integridad biológica, de acuerdo con el desarrollo evolutivo y la adaptación a las condiciones del medio ambiente. En los capítulos que estudiaremos a continuación conoceremos cómo el hombre se explica algunos de los hechos y fenómenos que se producen en la naturaleza en el nivel de organismo.



### **Tarea**

1. Analiza el concepto vida que aparece en el vocabulario y, sobre su base, expresa las características que le confieren unidad a la materia viva y que se manifiestan en los niveles celular y de organismo.
2. Valora el planteamiento siguiente: "El nivel celular se caracteriza por la unidad y diversidad".
3. Argumenta el planteamiento siguiente: "El dinamismo celular demuestra la unidad biológica del nivel celular".
4. Ejemplifica el nivel de organismo en cada uno de los reinos.
5. Valora el planteamiento siguiente: "El nivel de organismo presenta una gran diversidad, pero en todos se manifiestan las funciones características del nivel celular".

## FUNDAMENTOS BÁSICOS DEL NIVEL DE ORGANISMO

Durante los estudios realizados con anterioridad, hemos comprobado la extraordinaria diversidad que caracteriza a los organismos, los que han sido clasificados en cinco reinos para su mejor estudio (fig. 4).

También hemos comprendido que, desde los seres vivos unicelulares, como las móneras, los protistas y algunos hongos y algas, hasta los pluricelulares, como por ejemplo las plantas y los animales, todos poseen características comunes que les confieren unidad, por lo que son estudiados dentro de un mismo nivel de organización de la materia: *el nivel de organismo*. Dedicaremos este capítulo a profundizar en las características que permiten argumentar la integridad estructural y funcional de los organismos y a explicar que la gran diversidad de organismos existentes, desde los unicelulares hasta los pluricelulares, es el resultado del proceso evolutivo.

### De los organismos unicelulares a los pluricelulares

Las evidencias evolutivas demuestran que los primeros organismos que existieron en nuestro planeta, hace alrededor de 3 500 millones de años, eran **unicelulares**. Durante 3 millones de años nuestro planeta estuvo poblado, únicamente, por estos *organismos constituidos por una sola célula que realiza todas las funciones que permiten su vida independiente, en interacción con el medio ambiente*. Los **organismos pluricelulares están constituidos por muchas células, entre las cuales existe una estrecha interrelación y especialización al realizar las funciones**, de forma tal que no pueden vivir independientemente del organismo del que forman parte. Esto nos demuestra que los primeros organismos pluricelulares fueron el resultado de un largo y complicado proceso evolutivo (fig. 5).

Existen organismos clasificados como colonias celulares que constituyen una evidencia de este proceso evolutivo que dio origen a los organismos pluricelulares. Dentro de las colonias celulares podemos encontrar una gradación, desde las menos complejas, hasta las de mayor complejidad. Por ejemplo, *Gloeocapsa* sp., es una bacteria que se observa formando agrupaciones de células, entre las cuales no existe una estrecha relación estructural, ni especialización funcional. Inclusive, cualquier célula puede separarse de la colonia, continuar su vida independiente y, al dividirse, originar una nueva colonia (fig. 6a).

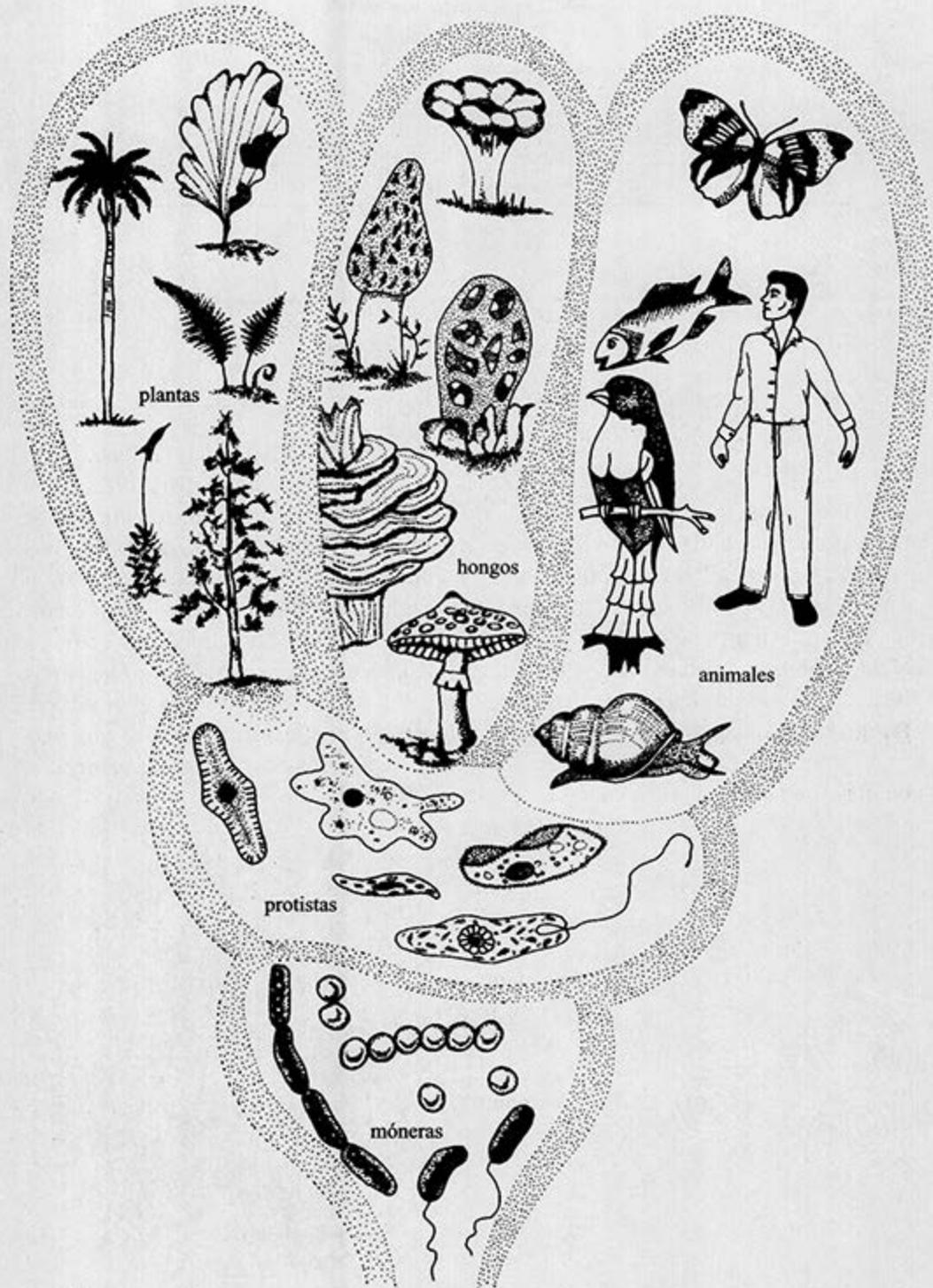
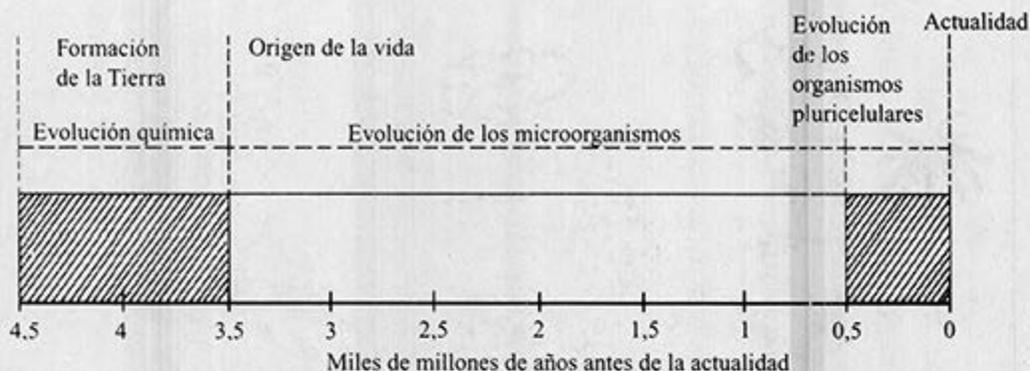
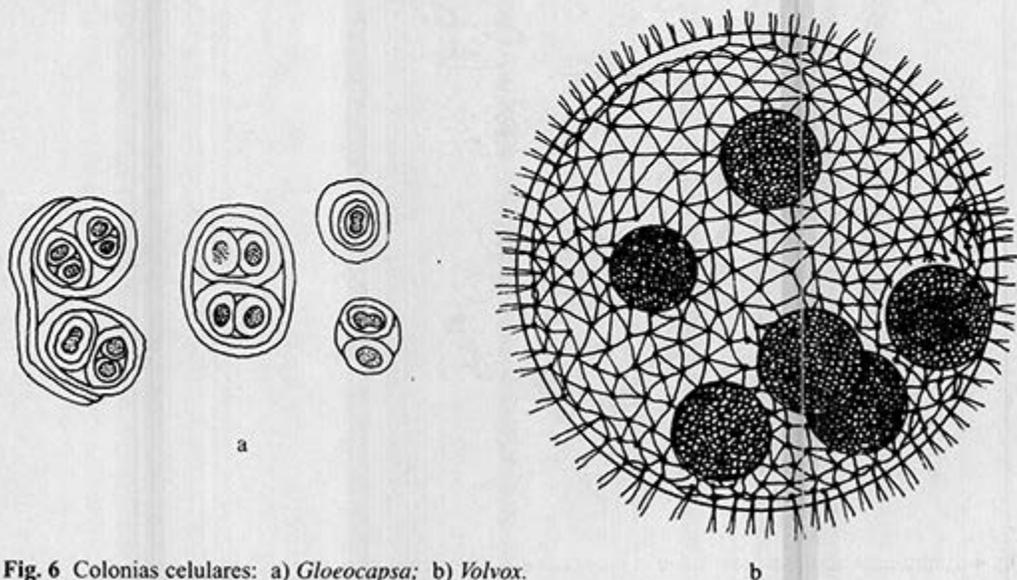


Fig. 4 Representación esquemática de la clasificación de los organismos en cinco reinos.



**Fig. 5** Gráfica que representa el origen y el desarrollo de los organismos unicelulares y pluricelulares a lo largo del proceso evolutivo.

Sin embargo, se conocen colonias celulares de mayor nivel de organización y desarrollo, como por ejemplo, *Volvox* sp. (fig. 6b). En este organismo podemos observar que las células que lo forman están vinculadas entre sí por conexiones plasmáticas y poseen cierta especialización en algunas funciones, como la reproducción; es por ello que algunos autores los consideran organismos pluricelulares. Estos ejemplos nos muestran, que desde el punto de vista estructural y funcional, las colonias celulares poseen diversos grados de complejidad; esto evidencia que los organismos pluricelulares se originaron a partir de los unicelulares. En este proceso evolutivo se produjo la agrupación de las células procedentes de la división celular, lo que permitió la especialización paulatina en las diferentes funciones y, como consecuencia, una mayor adaptación a las condiciones del medio ambiente.



**Fig. 6** Colonias celulares: a) *Gloeocapsa*; b) *Volvox*.

### SABÍAS QUE...

Existen otros organismos que pueden ser clasificados como colonias celulares, como por ejemplo algunas algas que forman cenobios y algunos protistas como la pandorina y la eudorina.

Resumiendo, el origen de la **pluricelularidad** constituyó un hito evolutivo, ya que permitió el perfeccionamiento de las funciones a partir del desarrollo de estructuras con mayor especialización, como los tejidos, órganos y sistemas de órganos y contribuyó al desarrollo de una gran diversidad de organismos con adaptaciones a las diferentes condiciones del medio ambiente.



#### Tarea

1. Compara a los organismos unicelulares y pluricelulares en cuanto a sus características estructurales. Ejemplifica en cada caso.
2. Argumenta la importancia del estudio de las colonias celulares.
3. Explica por qué consideramos el origen de la pluricelularidad como un hito evolutivo.

### De las células a los tejidos. La especialización como resultado de la diferenciación celular

Como resultado del proceso evolutivo, los organismos pluricelulares están constituidos por distintos grupos de células que se han especializado en realizar funciones específicas. Ya conocemos que todo organismo pluricelular se forma a partir de una célula, que en algunos organismos puede ser una espora o un huevo o cigoto formado tras el proceso de fecundación, según la forma de reproducción de la especie. Esta célula inicial, contiene toda la información genética necesaria para el desarrollo de un individuo. ¿Cómo es posible que a partir de una célula pueda desarrollarse un organismo adulto formado por millones de células especializadas en funciones tan diferentes?

*Durante el desarrollo embrionario las células se dividen por mitosis, y se van diferenciando hasta formar las estructuras existentes en el individuo adulto. Este proceso de transformaciones recibe el nombre de **diferenciación celular** y ocurre como resul-*

tado de la expresión de la información genética, contenida en las células, en relación con los diferentes factores y condiciones del medio ambiente.

A consecuencia de la diferenciación celular en las células van ocurriendo transformaciones estructurales que permiten su especialización en diferentes funciones. Por ejemplo, podemos observar cómo las células musculares se caracterizan por ser alargadas y formar fibras, ya que en ellas abundan proteínas contráctiles, lo que les confiere su contractilidad y también que poseen abundancia de mitocondrias, lo que se explica por los requerimientos energéticos de la contracción muscular. Otro ejemplo de especialización alcanzada a causa de la diferenciación celular son las neuronas. En ellas observamos la presencia de prolongaciones: las dendritas y el axón, que participan en la conducción de impulsos nerviosos y, en su cuerpo celular o soma, se aprecia la abundancia de retículo endoplasmático rugoso, que como conocemos, participa en la síntesis de sustancias, como por ejemplo de los neurotransmisores, que intervienen en la transmisión de los impulsos nerviosos.

#### **SABÍAS QUE...**

**El desarrollo de cada organismo a partir de un huevo o cigoto es conocido como desarrollo embrionario u ontogénesis y el desarrollo que a lo largo del tiempo, permitió el origen de cada una de las diferentes especies, es conocido como desarrollo evolutivo o filogénesis.**

#### **SABÍAS QUE...**

**La totipotencia es una cualidad de las células embrionarias de dar origen a todas las estructuras de un embrión y, por tanto, a un individuo adulto. Con el avance del desarrollo embrionario y con la especialización, las células van perdiendo dicha cualidad, de forma tal que se plantea que las células de los tejidos diferenciados han perdido totalmente la totipotencia.**

En el proceso de evolución de los organismos unicelulares a los pluricelulares se originó paulatinamente la gran diversidad de células especializadas estructural y funcionalmente. En la medida que se fue estableciendo un mayor grado de relación entre las células y aumentaba su especialización en las diferentes funciones, se originaron *los tejidos*.

*Los tejidos constituyen agrupaciones de células semejantes y especializadas, que participan coordinadamente en la realización de una o varias funciones específicas.*

#### **SABÍAS QUE...**

**El destacado histólogo español Ramón y Cajal, Premio Nobel de Fisiología y Medicina, definió a los tejidos como "masas orgánicas formadas por la asociación en orden constante de células dotadas de propiedades estructurales, fisiológicas y químicas semejantes".**

La diversidad de tejidos, resultante de la especialización celular alcanzada durante el *desarrollo filogenético y ontogenético* de los organismos, se hace evidente al estudiar la estructura y la función de los principales tejidos de las plantas (fig. 7) y de los animales (fig. 8).

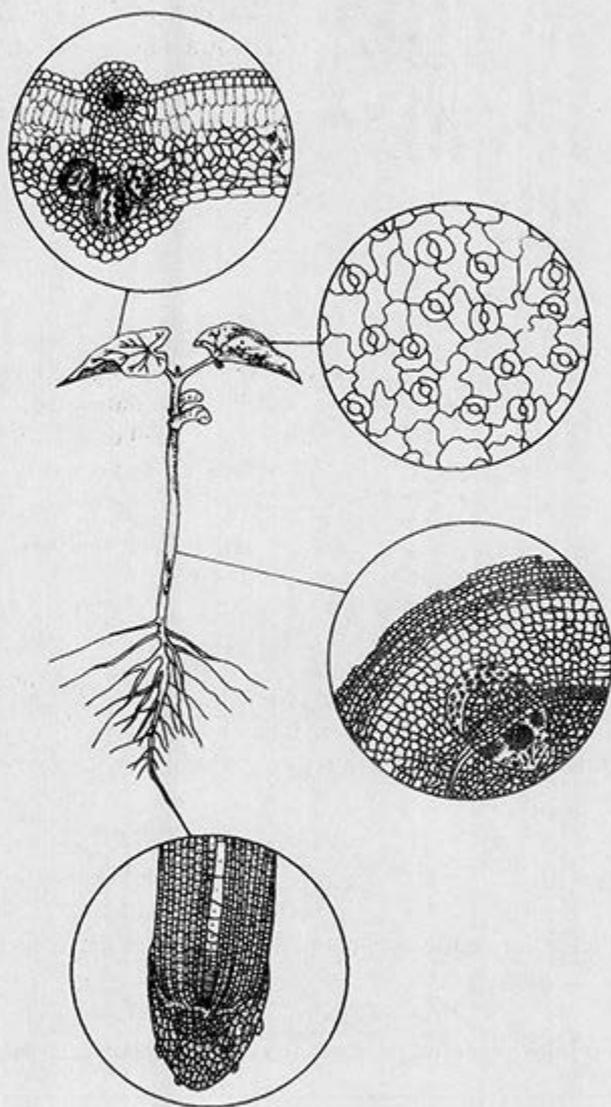


Fig. 7 Diversidad de tejidos de un organismo vegetal.

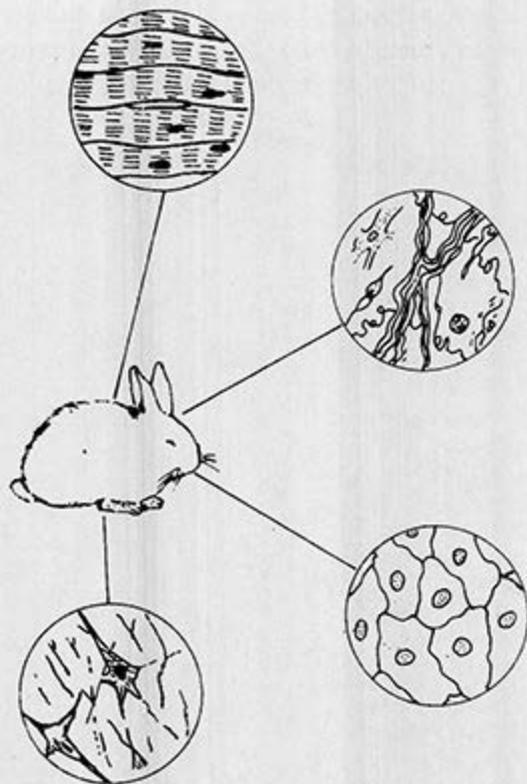


Fig. 8 Diversidad de tejidos de un organismo animal.

### SABÍAS QUE...

En los hongos y muchas algas pluricelulares, las células son semejantes entre sí y se agrupan formando pseudotejidos, en los que grupos de células pueden separarse y formar nuevos organismos.

### Tejidos vegetales

Atendiendo a su función los tejidos vegetales pueden clasificarse como se muestra en el cuadro 1.

Cuadro 1

Clasificación de los tejidos vegetales de acuerdo con la función que realizan en la planta

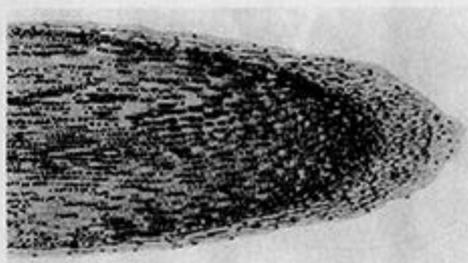
<i>Función</i>	<i>Tejidos vegetales</i>
Crecimiento	Meristemático
Nutrición	Parénquima clorofílico Parénquima reservante

Protección	Epidérmico Suberoso
Sostén	Colénquima Esclerénquima
Conducción	Xilema Floema

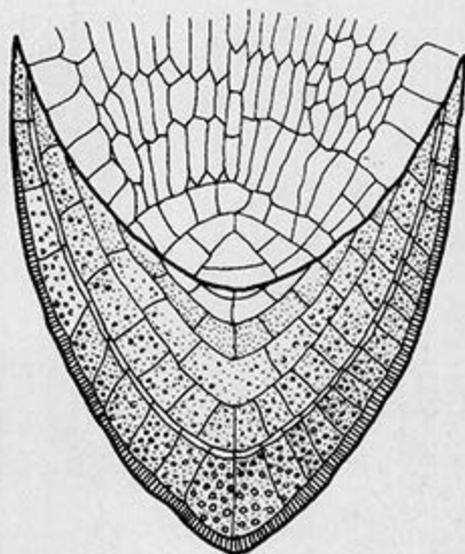
Para una mejor comprensión de la especialización en las diferentes funciones, estudiaremos la relación estructura-función en los principales tejidos vegetales.

### Meristemático

Este tejido está constituido por células pequeñas, indiferenciadas, que están en constante división celular; sus paredes celulares son delgadas y contienen abundante citoplasma. Poseen núcleos muy visibles, por lo que pueden observarse algunas fases de la mitosis (fig. 9). Está situado fundamentalmente en las yemas apicales\* y otras zonas de crecimiento de hojas, raíces y tallos. Su función es el crecimiento de la planta y la formación de los restantes tejidos.



a



b

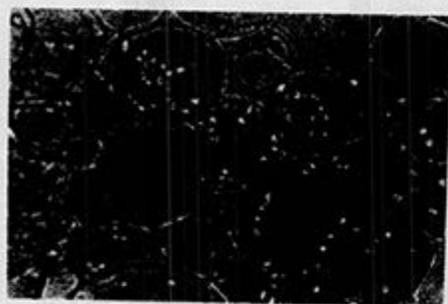


c

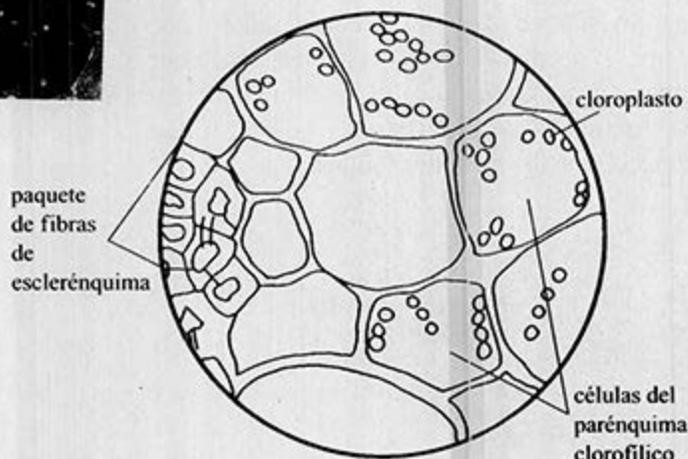
Fig. 9 Tejido meristemático de una yema apical: a) microfotografía, del ápice radicular de la aboila; b) esquema; c) ampliación del tejido meristemático.

## Parénquima clorofílico

Es un tejido especializado en la nutrición. Sus células poseen abundantes cloroplastos donde se realiza la fotosíntesis (fig. 10). Se encuentra en abundancia en las hojas y otras partes verdes de los vegetales, como los tallos herbáceos, sépalos de las flores y frutos verdes.



a

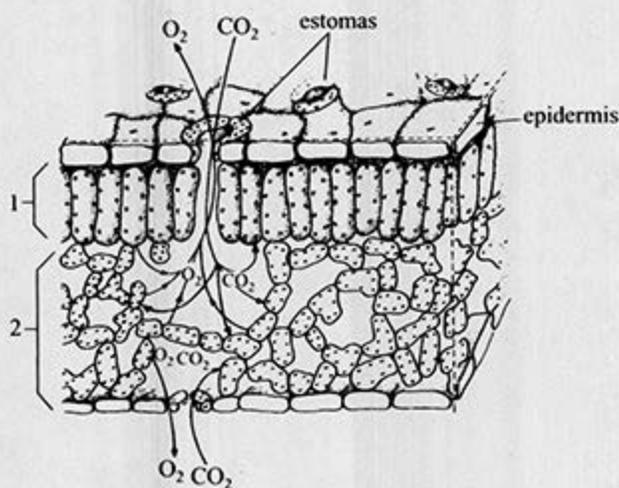


paquete  
de fibras  
de  
esclerenquima

cloroplasto

células del  
parénquima  
clorofílico

b



O<sub>2</sub> CO<sub>2</sub> estomas

epidermis

1

2

O<sub>2</sub> CO<sub>2</sub>

c

**Fig. 10** Parénquima clorofílico: a) microfotografía; b) esquema; c) esquema donde se observa: 1. parénquima de empalizada; 2. parénquima lagunar.

## Parénquima reservante

Tejido que está constituido por células desprovistas de cloroplastos, en las que se observan gránulos de almidón y otros productos (fig. 11). Abunda en tallos, raíces y algunas hojas, y su función es el almacenamiento de las sustancias de reserva de la nutrición.

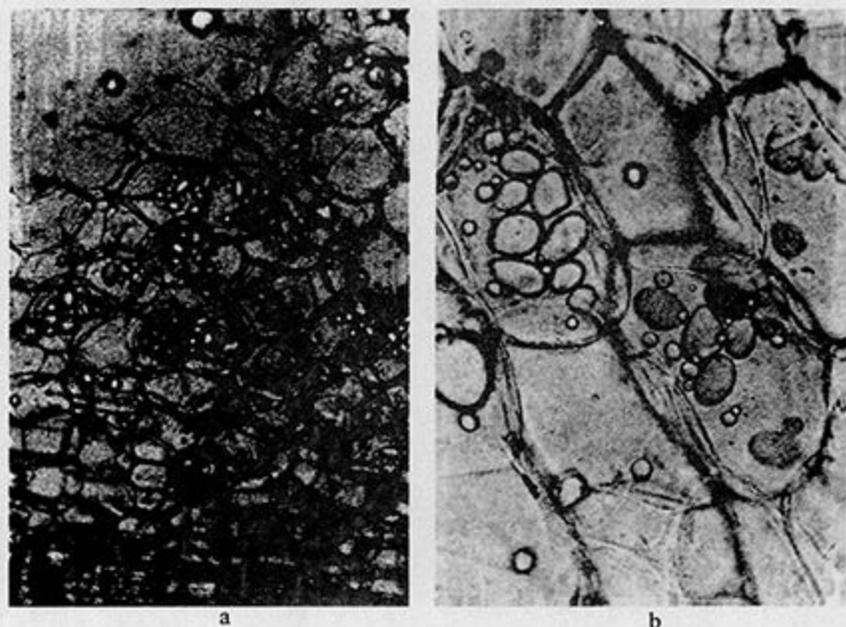


Fig. 11 Esquema de un corte transversal de tallo de tubérculo de papa, en el que se observa la abundancia de parénquima reservante: a) microfotografía; b) a mayor aumento donde se observan las células que contienen los gránulos de almidón.

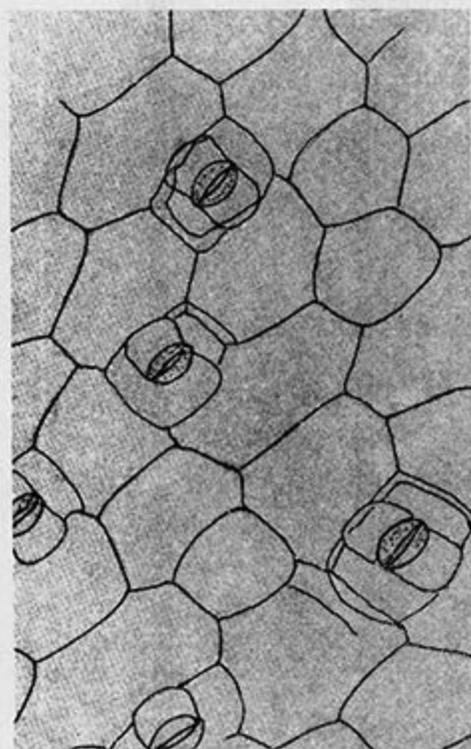
## SABÍAS QUE...

Existen plantas de gran importancia en la agricultura porque poseen órganos con abundante tejido parénquima reservante. Esta característica le confiere a muchas plantas gran importancia práctica, como por ejemplo la caña de azúcar, la papa, la remolacha, y otros que son utilizados en la alimentación humana y animal.

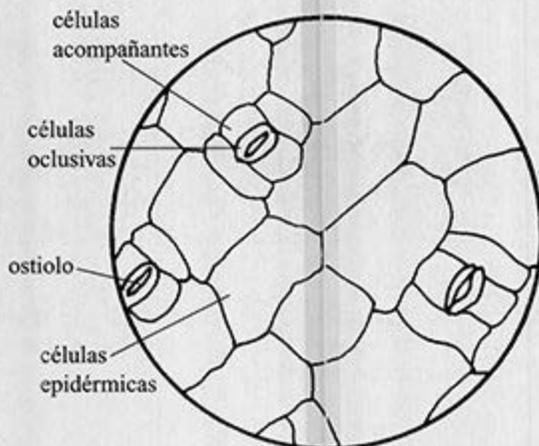
## Epidérmico

Es el tejido que recubre las partes jóvenes de las plantas. Sus células se observan muy unidas entre sí constituyendo una película continua. Estas células poseen grandes vacuolas que se encuentran repletas de líquido. Las paredes celulares de este tejido suelen impreg-

narse de cutina\* y presentar diverso grosor, como resultado de la adaptación al ambiente en que se desarrollan las plantas, y forman una cutícula que protege al vegetal. Las células de la epidermis generalmente no poseen cloroplastos, con excepción de los estomas, constituidos por dos células estomáticas en forma de frijol, que dejan una abertura entre ellas, llamada ostiolo, a través del cual se realiza el intercambio de gases y la transpiración\* (fig. 12). En resumen la epidermis protege a los tejidos que recubre, impide la evaporación excesiva del agua y regula el intercambio de gases con el medio ambiente.



a



b

**Fig. 12** Tejido epidérmico: a) microfotografía de hoja de cordobán; b) esquema donde se observan los estomas y su estructura.

### Suberoso

Es un tejido formado por capas de células cuyas paredes celulares están impregnadas de suberina, lo que les confiere impermeabilidad y esto provoca la pérdida del contenido citoplasmático (fig. 13). Su función es la protección mecánica, la impermeabilización y el aislamiento térmico. Se presenta recubriendo a órganos subterráneos o aéreos, en sustitución del tejido epidérmico. En el tejido suberoso de los tallos suelen observarse pequeñas aberturas rellenas de células no suberificadas que se denominan lenticelas y que permiten el intercambio gaseoso.

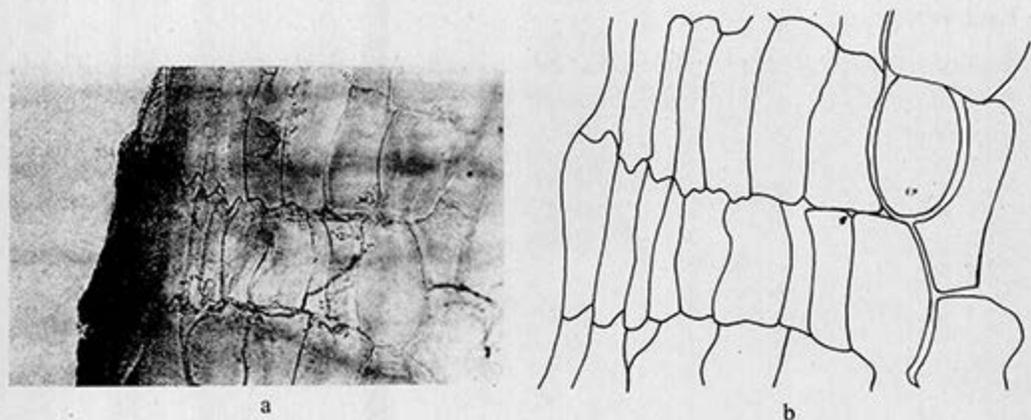


Fig. 13 Tejido suberoso: a) microfotografía donde se presentan células muy apretadas sin espacios intercelulares en el tubérculo de papa; b) esquema.

### SABÍAS QUE...

Las células observadas por Robert Hooke al microscopio óptico y que recibieron por primera vez esta denominación, eran de tejido suberoso. Este tejido es muy abundante en algunas especies como el alcornoque, árbol del que se extrae este tejido, que es conocido comúnmente como corcho.

### Colénquima

Este tejido está formado por células cuyas paredes celulares se hallan engrosadas en forma desigual por la presencia de celulosa, lo que le confiere gran resistencia y flexibilidad al cuerpo de las plantas (fig. 14). Se encuentran generalmente formando capas de células debajo de la epidermis.

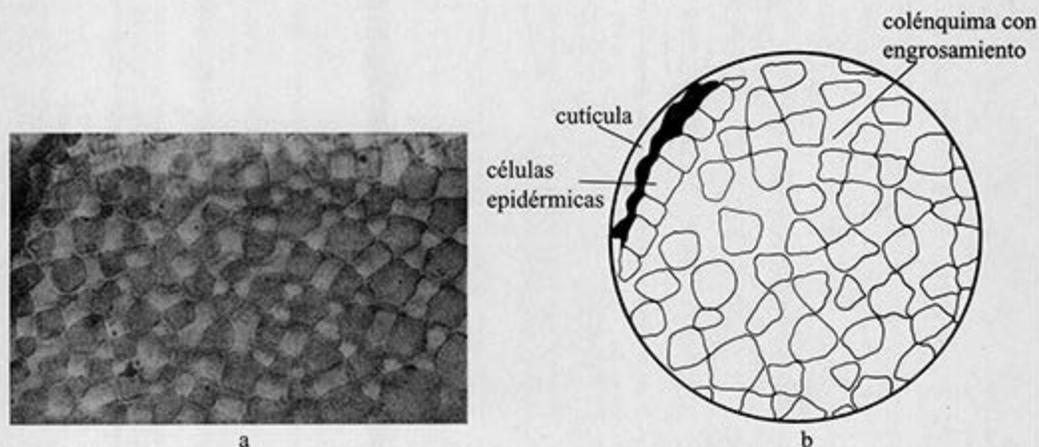
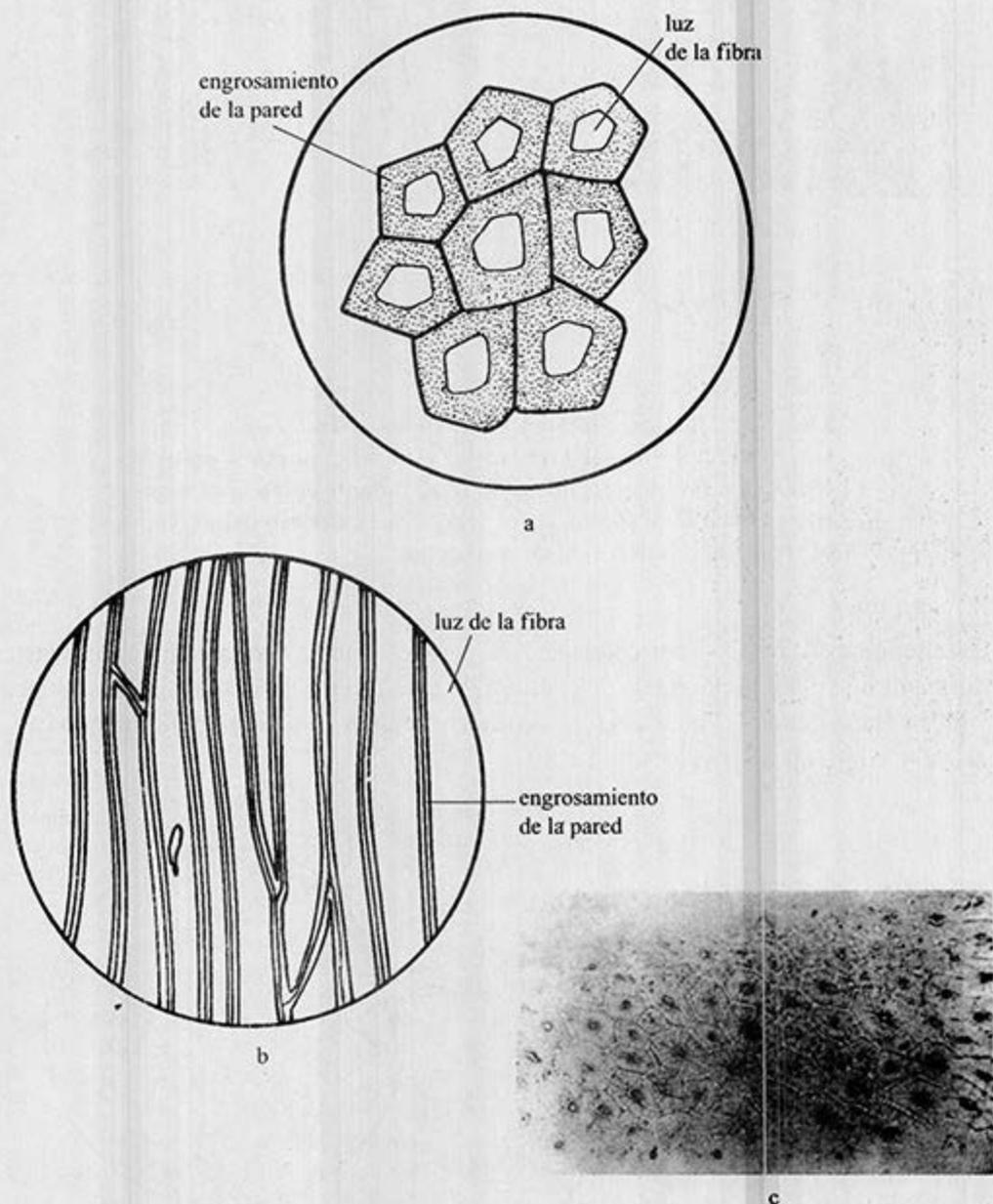


Fig. 14 Tejido colénquima: a) microfotografía, de talo de escoba amarga; b) esquema.

## Esclerénquima

Tejido de sostén formado por células cuyas paredes celulares están muy lignificadas. Pueden ser alargadas y formar fibras que le confieren elasticidad a los órganos vegetales (fig. 15).



**Fig. 15** Fibras de esclerénquima: a) esquema de corte transversal; b) esquema de corte longitudinal; c) microfotografía de células pétreas de semilla de mamey.

## SABÍAS QUE...

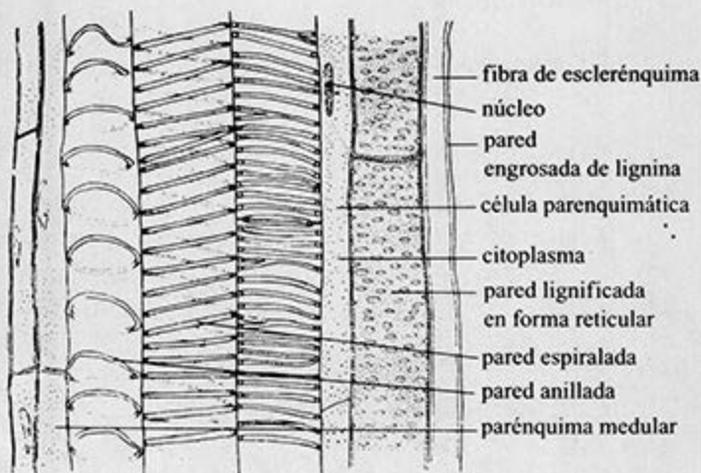
Existen plantas, como el henequén, cuyas hojas poseen gran cantidad de fibras de esclerénquima, que son utilizadas como materia prima en la fabricación de sogas, cuerdas, tejidos y otros utensilios de gran importancia en la vida humana.

### Xilema

Tejido formado por células alargadas, de paredes lignificadas, que han perdido el citoplasma y los tabiques entre ellas y se encuentran formando largos conductos o vasos de estrecho diámetro, llamados tráqueas y traqueidas (fig. 16). Permite el transporte del agua y las sales minerales desde las raíces hasta todos los tejidos y órganos vegetales y constituyen a la par elementos de sostén.



a



b

Fig.16 Vasos del xilema: a) microfotografía; b) esquema.

### Floema

Tejido formado por vasos que están constituidos por células dispuestas una a continuación de la otra, divididas por tabiques en forma de criba, por lo que reciben el nombre de vasos cribosos (fig. 17). Por ellos se transportan las sustancias orgánicas elaboradas en el proceso de fotosíntesis, desde los órganos verdes del vegetal hasta los sitios donde se almacenan o consumen.

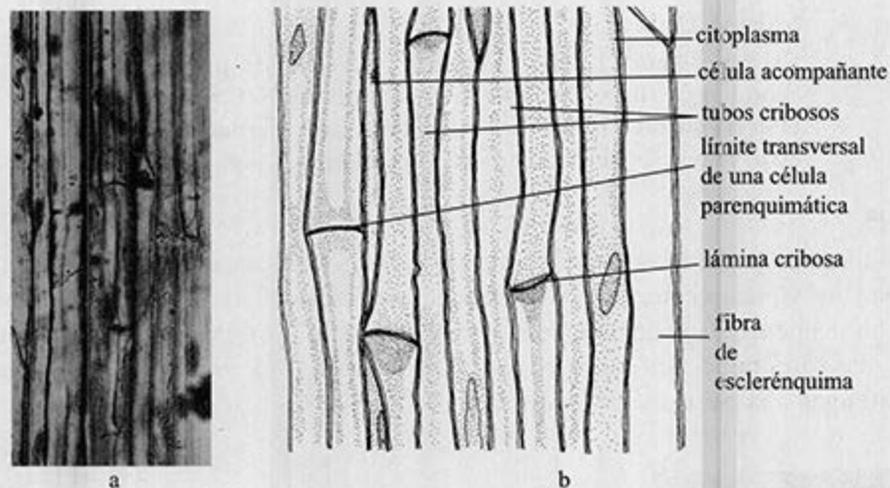


Fig. 17 Floema o vasos cribosos: a) microfotografía; b) esquema.

### Tejidos animales

Los tejidos animales pueden clasificarse también atendiendo a sus características y sus funciones.

#### Epitelial

Tejido formado por células que están muy unidas entre sí, sin sustancia intercelular.\* Se observa el tejido epitelial de revestimiento recubriendo la superficie corporal y la de los órganos internos, y permite, entre otras funciones, la protección y el intercambio de sustancias (fig. 18). El tejido glandular es otro tipo de tejido epitelial cuyas células están

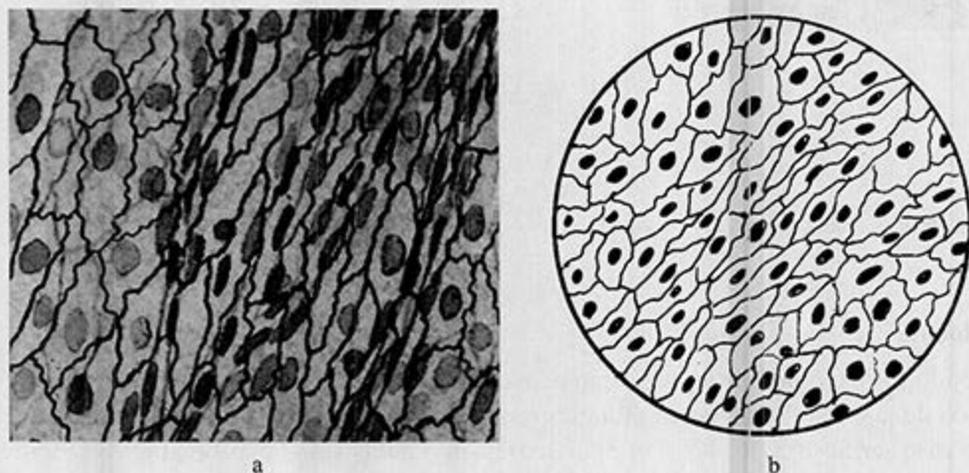


Fig. 18 Tejido epitelial: a) microfotografía de un epitelio simple; b) esquema.

especializadas en la elaboración de determinadas sustancias. Se encuentran formando las glándulas exocrinas o de secreción externa, como por ejemplo las glándulas salivales y las sudoríparas; las endocrinas o de secreción interna, como la hipófisis y las tiroides, y las glándulas mixtas, que producen secreciones externas e internas, como el páncreas.

### Conjuntivo

Este tejido realiza diversas funciones en los organismos animales y se caracteriza por la abundancia de sustancia intercelular que puede ser líquida, como en el caso de la sangre (fig. 19a) y la linfa, y realizan, entre otras funciones, el transporte de sustancias y participan en la defensa. En el tejido óseo la sustancia intercelular es rica en sales de calcio, lo que le confiere la dureza que permite su función de sostén (fig. 19b). El tejido conjuntivo laxo tiene como función la de unir y proporcionar sostén a otros tejidos; posee fibras elásticas y fibras colágenas,\* que son más abundantes en el tejido conjuntivo fibroso característico de los tendones (fig. 19c). Como se aprecia, el tejido conjuntivo realiza diversas funciones en dependencia de sus características y de las estructuras que forma, entre las que podemos citar el sostén, la nutrición y el transporte de sustancias.

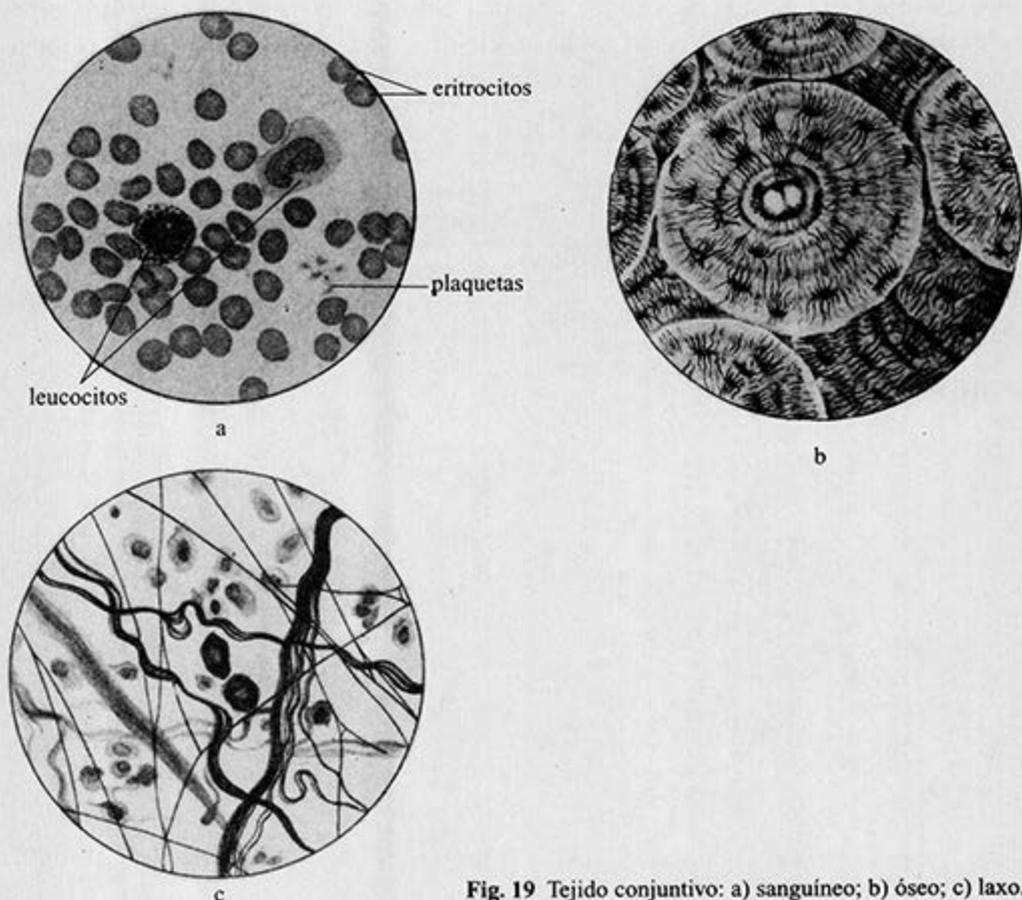


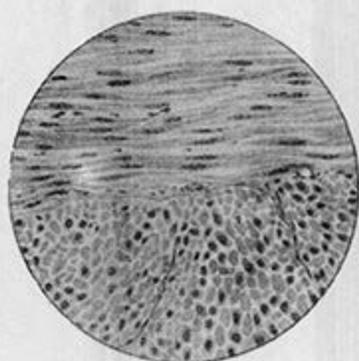
Fig. 19 Tejido conjuntivo: a) sanguíneo; b) óseo; c) laxo.

## SABÍAS QUE...

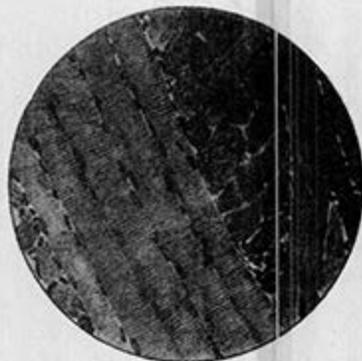
La donación de sangre es una forma de contribuir a salvar vidas humanas. En una donación se extraen aproximadamente 500 mL de sangre y este volumen puede ser recuperado por el organismo en una hora. Esta es estrictamente controlada en los bancos de sangre, de forma tal que se descarta cualquier posibilidad de transmisión de SIDA o hepatitis por esa vía y puede ser utilizada para donaciones o para obtener hemoderivados, como son la albúmina humana, el interferón leucocitario, entre otros productos.

### Muscular

A este tejido lo forman células con abundantes proteínas contráctiles. Se distinguen tres tipos: liso (fig. 20a), estriado (fig. 20b) y estriado cardíaco (fig. 20c). Las fibras lisas son aguzadas en los extremos y poseen contracción involuntaria, estas van a formar las paredes de muchos órganos. Las fibras estriadas son alargadas, presentan contracción voluntaria y se encuentran conformando fascículos que, a su vez, constituyen los músculos esqueléticos. Las fibras estriadas cardíacas poseen características especiales que permiten la contracción cardíaca. En general este tejido participa en el movimiento de los organismos.



a



b



c

Fig. 20 Tejido muscular: a) liso; b) estriado; c) estriado cardíaco.

## Nervioso

Es el más complejo y especializado de los tejidos animales. Está formado por células especializadas en la generación y conducción del impulso nervioso: las neuronas y otras células que participan en la nutrición y la defensa de las estructuras nerviosas (fig. 21). En cada neurona se distinguen el cuerpo o soma y las prolongaciones: el axón y las dendritas. En el soma se observa el núcleo, por lo general grande y situado centralmente, y en el citoplasma, abundantes mitocondrias, y el retículo y el complejo de Golgi bien desarrollados.



a



b

Fig. 21 Tejido nervioso: a) microfotografía; b) esquema donde se observan las neuronas.

El estudio de los tejidos nos permite comprender cómo las características estructurales permiten la realización de las funciones en que se han especializado a lo largo del proceso evolutivo y llegar a la conclusión de que los tejidos no son la simple suma de las células que los forman, sino el resultado de la especialización y de la estrecha coordinación funcional desarrollada durante la evolución.

### SABÍAS QUE...

La técnica de cultivo de tejidos es de gran importancia para el avance de la medicina. Se realiza en el mundo y en nuestro país en diferentes fases de los ensayos clínicos de las investigaciones científicas para comprobar los efectos de sustancias químicas y medicamentos en tejidos y así evitar los riesgos de los ensayos en voluntarios humanos.



#### Tarea

1. ¿Qué importancia tiene la diferenciación celular en el desarrollo embrionario de los organismos pluricelulares?
2. Elabora un cuadro donde puedas resumir la relación estructura-función de los principales tejidos vegetales y animales.
3. Valora y ejemplifica la afirmación siguiente: “La diversidad de tejidos resultante de la especialización alcanzada durante la evolución de los organismos, se hace evidente al estudiar los tejidos vegetales y animales”.
4. Argumenta la afirmación siguiente: “Los tejidos no son la simple suma de las células que los forman”.
5. Selecciona un ejemplo de tejido vegetal y otro de animal y explica la relación estructura-función presente en cada caso.
6. Identifica qué tejidos se encuentran afectados en cada uno de los ejemplos siguientes:
  - Infarto del miocardio.
  - Anemia.
  - Hojas de plantas de tomate de color amarillento.
    - a) ¿Qué medidas pudieras proponer para evitar estos daños?

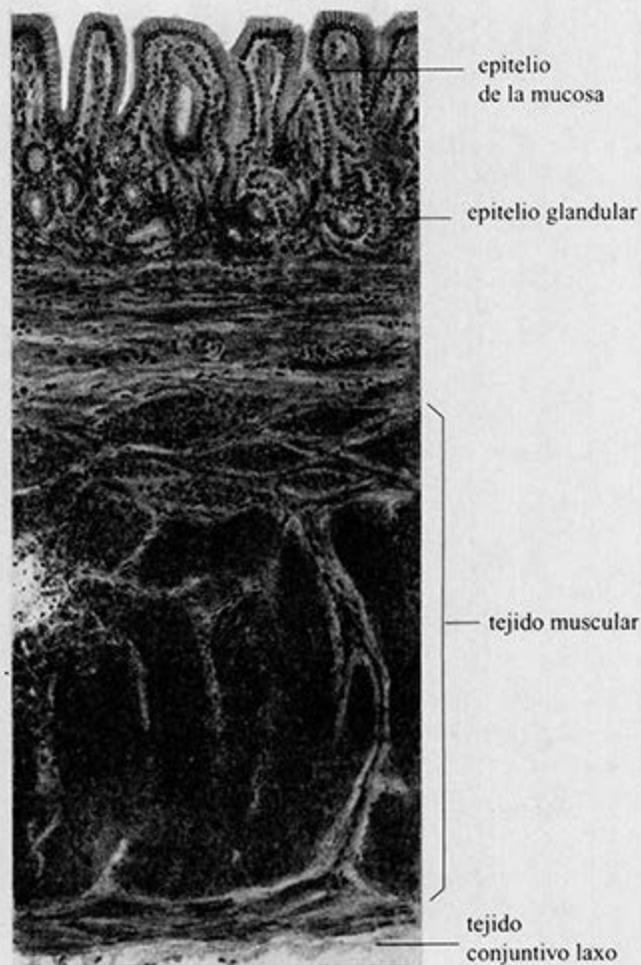
### De los tejidos a los órganos y sistemas de órganos

En algunas especies de algas pluricelulares y celenterados los tejidos son la forma de organización máxima alcanzada en el proceso evolutivo. En otros organismos, los tejidos se encuentran agrupados formando órganos.

Los **órganos** son estructuras constituidas por dos o más tejidos que están relacionados estructuralmente y funcionalmente y se especializan en una o varias funciones en el organismo.

Generalmente, en la estructura de los órganos se observa que abunda uno o más tipos de tejidos, de acuerdo con la función en la que están especializados. Por ejemplo, en el corazón podemos observar que predomina la presencia de tejido muscular cardíaco, constituido por fibras de contracción involuntaria, pero también encontramos otros tejidos como el conjuntivo laxo, el epitelial, y la presencia de fibras lisas y terminaciones nerviosas; dichos tejidos interactúan entre sí, lo que permite el funcionamiento del corazón como órgano impulsor de la sangre en muchos grupos de animales.

En otros órganos animales, como por ejemplo el estómago humano, la presencia de diferentes tipos de tejidos está relacionada con su función en el organismo (fig. 22). Recordemos que en niveles anteriores estudiamos que la digestión mecánica, en el estómago, se debe a las contracciones de las fibras musculares lisas que se encuentran en una de las capas de su pared, y la digestión química, a la presencia de tejido epitelial glandular, que produce los componentes del jugo gástrico. La regulación del funcionamiento de este órgano depende de la inervación de fibras nerviosas.



**Fig. 22** Microfotografía donde se observa la relación estructural de los diferentes tejidos que forman la pared del estómago.

De manera similar podemos explicar la interacción de los diferentes tejidos vegetales en los principales órganos vegetales.

Si realizamos un corte transversal a una hoja de una planta (fig. 23) y lo observamos al microscopio óptico, comprobaremos que hay de diferentes tejidos vegetales. El tejido epidérmico se halla recubriendo a toda la hoja en su área exterior y la presencia de estomas permite el intercambio de gases con la atmósfera.

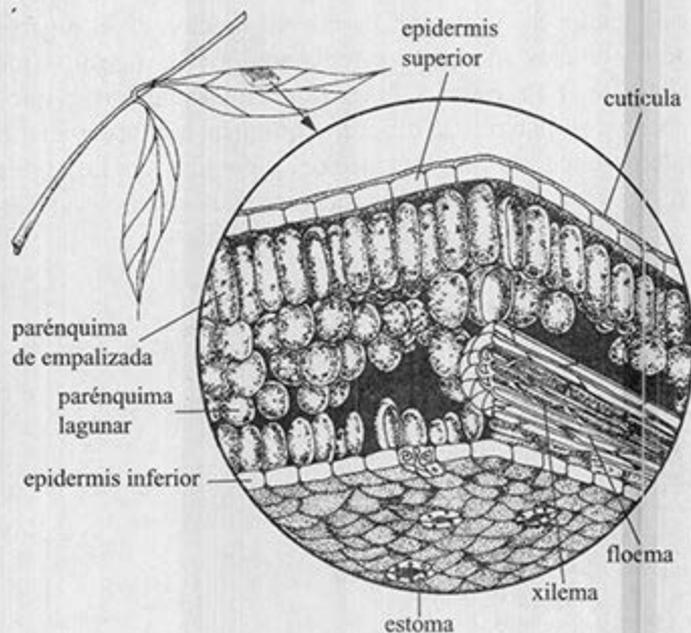


Fig. 23 Corte transversal de una hoja donde se observa la interacción estructural entre los tejidos que la conforman.

El transporte de agua y sales minerales se realiza por los vasos del xilema y los productos elaborados mediante la fotosíntesis, en la hoja, se transportan mediante el floema. Pero, evidentemente, corroboraremos que el tejido que más abunda en este órgano vegetal es el parénquima clorofílico, donde se realiza la función de la fotosíntesis y que tiene como resultado la especialización de las hojas en la nutrición de las plantas.

Al observar la naturaleza, podemos confirmar que tanto en las plantas como en los animales, los órganos poseen diversidad de formas y características de acuerdo con su especialización funcional y las adaptaciones a las diferentes condiciones del medio ambiente.

La especialización de los órganos está determinada por la correspondencia que se establece entre su estructura y funciones, con las características del medio ambiente,

lo que permite el desarrollo de diversas adaptaciones de los órganos en el proceso evolutivo.

Por ejemplo, en las plantas puede observarse la ubicación del parénquima de empalizada hacia el haz de las hojas y el lagunar hacia el envés (ver fig. 23), así como una mayor presencia de estomas en la epidermis correspondiente a esa zona de la hoja. Estas características están relacionadas con un aprovechamiento más eficiente de la luz solar y evitan la pérdida de agua en exceso por transpiración.

#### **SABÍAS QUE...**

**En las plantas que poseen órganos sumergidos en el agua, se observa que en los órganos aéreos existen grandes espacios intercelulares en el parénquima clorofílico. Este parénquima recibe el nombre de aerífero y constituye una adaptación que facilita el intercambio de gases.**

En los animales, los órganos se encuentran formando sistemas de órganos, como por ejemplo, el sistema digestivo, el respiratorio, el circulatorio, el nervioso, entre otros.

Los **sistemas de órganos** *están constituidos por un conjunto de órganos relacionados estructuralmente en la realización de una o varias funciones.* Los órganos que conforman a los sistemas de órganos poseen un origen común y, en general, mantienen una estrecha correspondencia en cuanto a su morfología y localización.

#### **SABÍAS QUE...**

**Algunos científicos plantean que las flores y los frutos de las plantas pueden ser considerados como sistemas de órganos.**

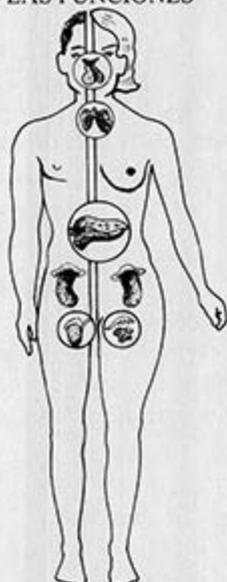
La figura 24 representa diferentes sistemas de órganos en el hombre. En cada uno de ellos podemos observar cómo los distintos órganos se relacionan estructural y fundamentalmente, de forma tal que cualquier afectación en uno de ellos altera el funcionamiento de todo el sistema. Por ejemplo, el sistema circulatorio está constituido por los vasos sanguíneos y el corazón, las contracciones de este órgano impulsan la sangre por el interior de los vasos sanguíneos, lo que posibilita el transporte de sustancias a todos los tejidos.

En ocasiones, como resultado de hábitos alimentarios incorrectos, el hábito de fumar y el sedentarismo, se eleva el nivel de colesterol\* en la sangre o en las arterias que irrigan el propio corazón y se deposita la grasa y otras sustancias en sus paredes, estas forman placas o engrosamientos que reducen el espacio por donde va a circular la sangre, dificultando la circulación al corazón. Esto provoca afectaciones en el tejido muscular cardíaco, lo que puede ocasionar un infarto del miocardio, que pone en peligro la vida del individuo, ya que todos los sistemas de órganos están relacionados entre sí, en el funcionamiento de todo el organismo.

REGULACIÓN DE LAS FUNCIONES

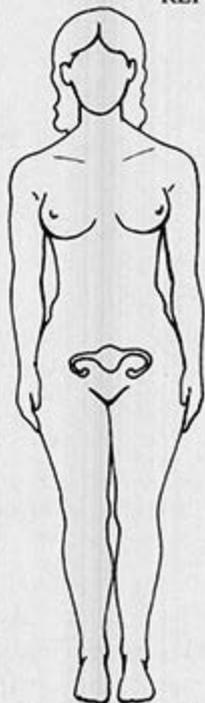


sistema nervioso

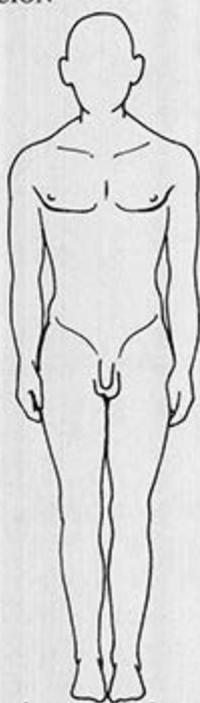


sistema endocrino

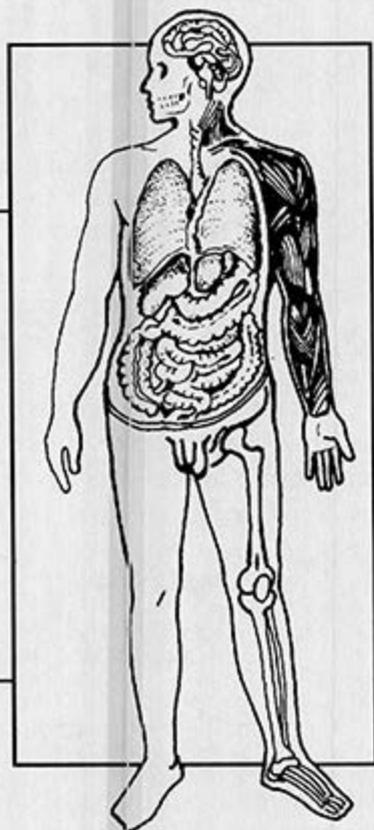
REPRODUCCIÓN

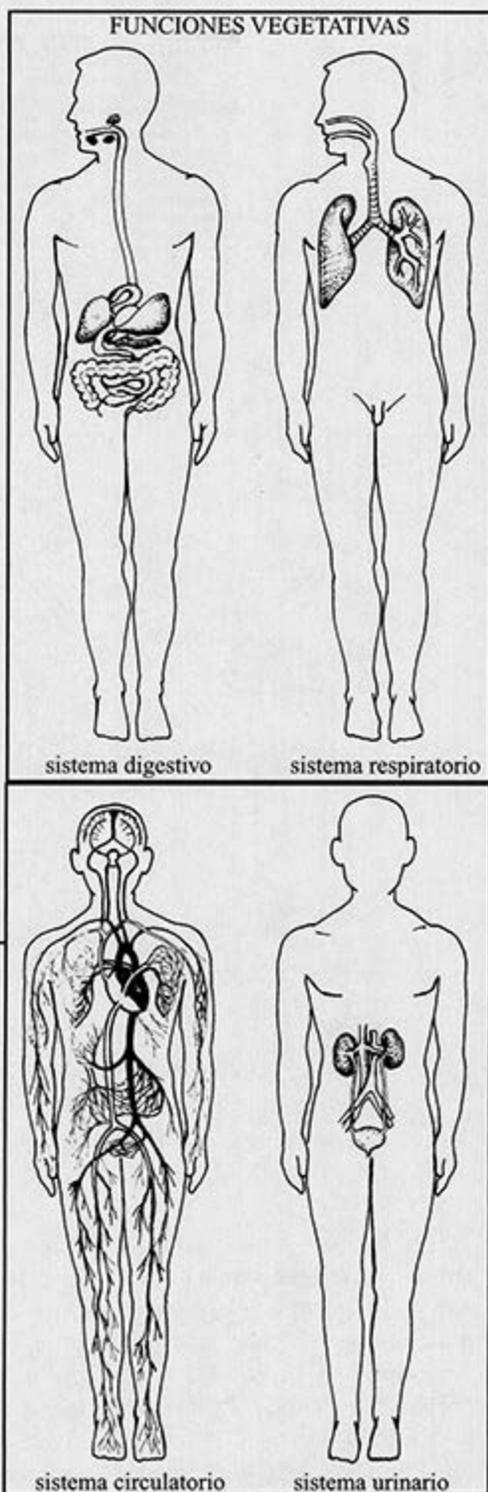


sistema reproductor  
femenino



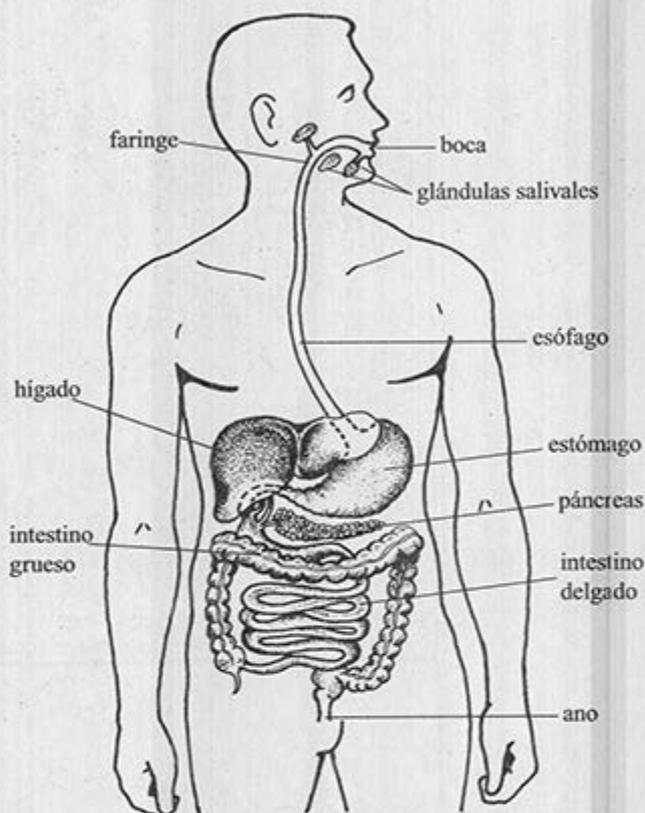
sistema reproductor  
masculino





**Fig. 24** Representación de diferentes sistemas de órganos en el hombre.

Otro ejemplo es la interacción estructural y funcional que existe entre los órganos del sistema digestivo (fig. 25).



**Fig. 25** Esquema que representa la interrelación estructural y funcional entre los órganos que forman el sistema digestivo.

En resumen la diversidad de tejidos, órganos y sistemas de órganos se desarrolló durante el proceso de evolución, lo que permitió el aumento progresivo de la complejidad de los seres vivos y contribuyó a su adaptación a las disímiles condiciones del medio ambiente.

### SABÍAS QUE...

Diferentes tejidos, como el presente en la médula ósea\* y en la córnea de los ojos, y órganos como los riñones, el corazón, los pulmones y el hígado, son trasplantados en los humanos cada vez con mayor éxito; ello ofrece una solución a enfermedades crónicas que conducen inexorablemente a la muerte, como por ejemplo, en los casos de insuficiencia renal. El empleo de redes informáticas posibilita una selección rápida y más eficiente de receptores y reduce los riesgos por rechazo inmunológico.

### SABÍAS QUE...

En algunos países, el afán de lucro de individuos y del personal médico inescrupulosos ha engendrado el desarrollo del contrabando de órganos y tejidos que perjudica fundamentalmente a las personas pobres y desposeídas y niños sin familia y hogar, que son compulsadas a atenuar su pobreza mediante la venta de algunos de sus órganos.



### Tarea

1. Expresa la definición de órganos y de sistemas de órganos y ejemplifica en cada caso.
2. Explica la relación estructural y funcional que se establece entre los tejidos de órganos en un organismo animal y otro vegetal seleccionados por ti. Investiga, a partir de la observación de plantas y animales o de la búsqueda en otros textos.
3. Si realizaras un recorrido por áreas de tu localidad, podrás observar la belleza y la diversidad de los organismos que te rodean. Ejemplifica adaptaciones presentes en los órganos que permiten su especialización funcional en correspondencia con las características del medio ambiente.
4. Se conoce que la falta de higiene bucal afecta a la dentadura y esto provoca problemas digestivos en las personas. ¿Cómo explicarías esta situación a partir de lo estudiado?

## El organismo como un todo. Funciones características de un organismo

Ya conocemos que en la naturaleza existe una gran diversidad de organismos con características morfológicas y grados de complejidad diferentes, que poseen, además, características estructurales y funcionales comunes, por lo que constituyen un mismo nivel de organización de la materia viva: el nivel de organismo.

### SABÍAS QUE...

Se han descrito por lo menos 1 493 845 especies de organismos de todos los reinos y, a medida que transcurre el tiempo, la lista aumenta por el descubrimiento de nuevas especies. La diversidad de formas de organismos es inmensa y ocupan todos los hábitats posibles, desde los fríos hielos de los polos, hasta las profundidades de las minas.

Un **organismo** es un sistema autorregulado de materia viva, que funciona como un todo independiente, en constante intercambio de sustancias, energía e información con el medio ambiente, lo que permite su desarrollo individual y reproducción.

Los organismos existen como unidades vivientes en estrecha relación con el medio ambiente. Lo que distingue a los organismos vivos de cualquier otra entidad, es su condición de existir independientemente, como una unidad viva, en intercambio constante con el medio ambiente. Esta es la razón por la que no podemos considerar, por ejemplo, a una neurona como un organismo, ya que si la aislamos del resto del organismo pierde la posibilidad de mantener la vida.

El intercambio de sustancias, energía e información es indispensable en el mantenimiento del metabolismo celular que, como conocemos, es una propiedad fundamental de la materia viva. Sin embargo, este intercambio también ocurre en los cuerpos no vivos. La diferencia consiste en que los organismos vivos autorregulan su funcionamiento y el intercambio con el medio ambiente lo que, a diferencia de lo no vivo, constituye precisamente una condición necesaria de su existencia.

Los organismos unicelulares como, por ejemplo los protistas y las mórneras, están en su mayoría en contacto directo con el medio ambiente que los rodea, lo que posibilita el intercambio. Hemos estudiado que en los organismos pluricelulares, en la medida en que aumenta el grado de complejidad, las células se encuentran formando tejidos, órganos y sistemas de órganos. Como consecuencia, la mayoría de sus células no están en contacto directo con el medio ambiente. ¿Cómo cada célula realiza el intercambio necesario en el mantenimiento del metabolismo celular?

En estos casos, cada célula realiza el intercambio con el *medio interno*, que está constituido por las otras células que la rodean, por la sustancia intercelular y por otros fluidos, como por ejemplo, la sangre y la linfa (fig. 26).

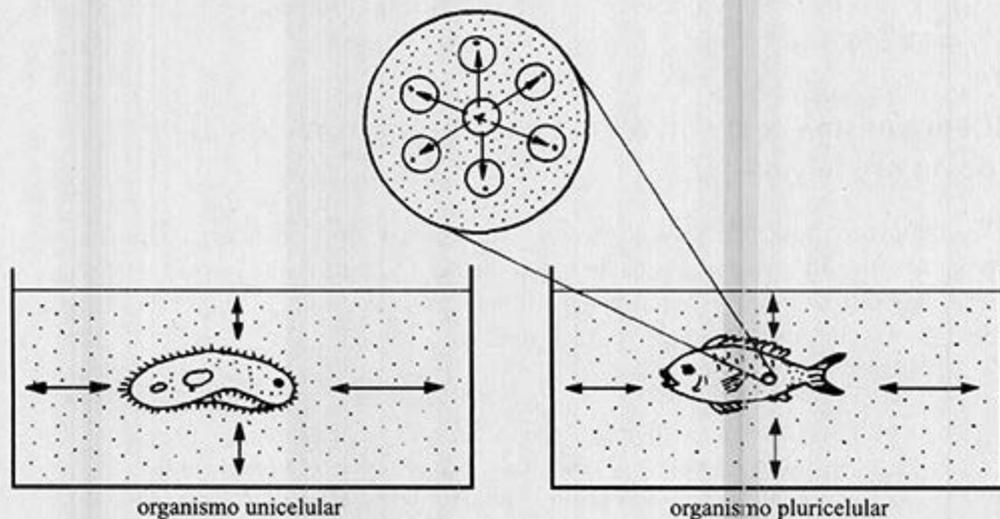


Fig. 26 Comparación entre el medio ambiente de un organismo unicelular y el medio interno de un organismo pluricelular.

Los organismos regulan la concentración de sustancias en el medio interno dentro de determinados límites o rangos, por ejemplo de glucosa, agua, sales minerales e iones. Cuando las condiciones del medio ambiente varían, se mantiene un equilibrio de determinados parámetros en el medio interno, lo que asegura el funcionamiento normal del organismo. Este *fenómeno de la estabilidad o constancia dinámica del medio interno*, recibe el nombre de **homeostasia**.

### SABÍAS QUE...

El gran fisiólogo francés **Claude Bernard (1813-1878)** es considerado el precursor del término **homeostasia**, ya que fue el primero en plantear la idea de la estabilidad del medio interno.

El mantenimiento de la homeostasia o equilibrio del medio interno de los organismos es de gran importancia, ya que permite mantener todas las funciones que posibilitan el metabolismo celular y la adaptación a las condiciones del medio ambiente.

La vida solamente es posible mientras ocurren los procesos metabólicos. Todas las funciones del organismo están asociadas al metabolismo.

A nivel de organismo, el **metabolismo** es el conjunto de cambios físicos y químicos, de transformaciones de sustancias, energía e información que continuamente ocurren en él y está relacionado con todos los procesos fisiológicos del organismo como un todo íntegro.

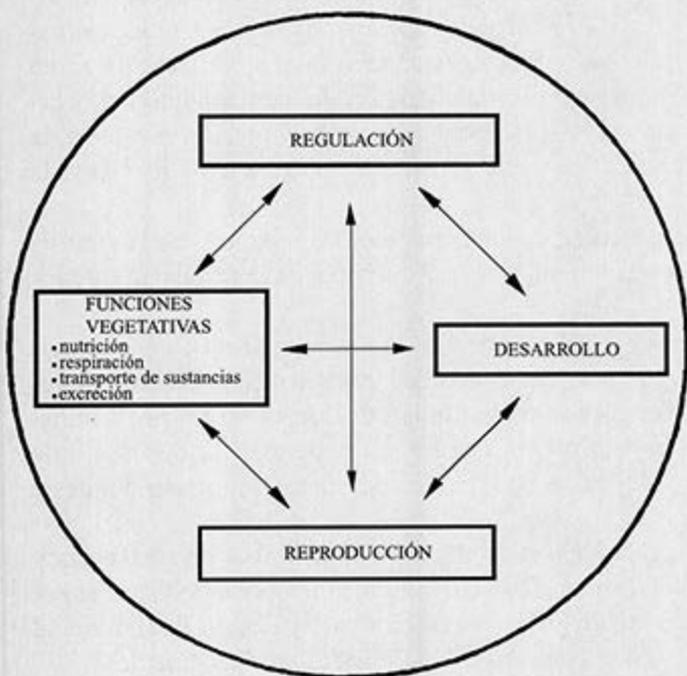


Fig. 27 Interacción entre las funciones características de los organismos.

*El conjunto de funciones que permite el mantenimiento del metabolismo celular y, por tanto, de la vida de los organismos, recibe el nombre de **funciones vegetativas** (fig. 27).*

Como estudiamos en Biología 3, las funciones vegetativas están relacionadas con el suministro, el transporte y la eliminación de sustancias a nivel celular, lo que posibilita que se realicen los procesos de síntesis y degradación del metabolismo celular.

La **nutrición** es la incorporación desde el exterior de sustancias y su transformación en el interior del organismo, lo que permite obtener las materias primas necesarias en el recambio celular, en la formación de nuevas estructuras y en el crecimiento y el almacenamiento de las sustancias como reserva energética. Esto es posible, ya que en el nivel celular los nutrientes constituyen la materia prima de los procesos de síntesis metabólica de diferentes moléculas que componen sus estructuras, contribuyendo al recambio celular continuo. El crecimiento y desarrollo de los organismos ocurre en la medida en que se incorporan nuevas sustancias y se transforman mediante las reacciones metabólicas celulares.

*El movimiento de sustancias por todas las partes del organismo, de acuerdo con sus requerimientos metabólicos, es el **transporte**.*

En los organismos unicelulares el transporte se realiza a través de la membrana citoplasmática mediante mecanismos estudiados en cursos anteriores, pero en los organismos pluricelulares, existen estructuras especializadas en esta función que transportan nutrientes, gases, agua, iones, hormonas, entre otros, hasta las células y, desde allí, sustancias de desecho del metabolismo, dióxido de carbono y exceso de agua, hasta las estructuras que favorezcan su expulsión al exterior.

La **excreción** es la separación y eliminación de las sustancias de desecho del metabolismo, lo que contribuye a mantener la estabilidad del medio interno. Como resultado de la actividad metabólica celular se producen sustancias que, si se acumularan en el interior de las células o en el medio interno, afectarían el funcionamiento del organismo. La excreción permite el mantenimiento estable del pH, la presión osmótica, la concentración de agua e iones, entre otros parámetros, que contribuyen a mantener la homeostasia.

Los organismos utilizan energía en su funcionamiento, por ejemplo en la síntesis de sustancias, en el movimiento, en la temperatura del cuerpo y en la respuesta ante los estímulos.

Como conocemos, la **respiración** es la producción de energía mediante la oxidación de sustancias en el nivel celular. En el nivel de organismo, la función vegetativa de respiración incluye mecanismos de ventilación y de intercambio y transporte de gases, que posibilitan la respiración celular, en dependencia del grado de complejidad de los organismos y de las características del medio ambiente donde se desarrollan.

En resumen, las funciones vegetativas, al asegurar el intercambio de sustancias y energía con el medio ambiente, determinan la realización del metabolismo y, por tanto, el mantenimiento de la vida de los organismos y su crecimiento y desarrollo individual pero, ¿cómo los organismos mantienen la continuidad de las diferentes especies?

Ya estudiamos en grados anteriores, que *los organismos con características semejantes, que se cruzan entre sí y tienen descendencia fértil constituyen una especie. La reproducción es la función que permite la conservación de cada especie en el tiempo y el espacio como resultado de la multiplicación del número de sus individuos y posibilita la transmisión de las características hereditarias de generación en generación.* Se diferencia de las funciones vegetativas en que no es una función esencial en la vida de un individuo, pero de ella depende la continuidad de la especie.

Como consecuencia de la reproducción se produce el **desarrollo individual u ontogénesis** que, como explicamos con anterioridad, *es el conjunto de transformaciones que ocurren en el organismo, desde la formación del individuo hasta su muerte.* Entre las principales transformaciones que ocurren durante la ontogénesis se observan: el aumento de tamaño y del número de células que componen al organismo, la diferenciación celular y la formación de los tejidos, órganos y sistemas de órganos especializados en realizar las diversas funciones.

Tanto las funciones vegetativas como la reproducción están estrechamente interrelacionadas y se "reajustan" según las variaciones de las condiciones del medio ambiente en que se desarrollan los organismos. Anteriormente planteamos que los organismos son sistemas autorregulados que mantienen la estabilidad del medio interno y modifican su funcionamiento. Este proceso se realiza mediante la función de regulación.

**La regulación** *es la función de los organismos que permite utilizar la información recibida desde el exterior o el interior, y responder, en consecuencia, manteniendo la homeostasia y posibilitando la adaptación a las nuevas condiciones del medio ambiente.*

En los organismos, todas las funciones están coordinadas y subordinadas al todo mediante la regulación. Por ejemplo, el contenido de agua y electrolitos de cualquier organismo no solo depende de una adecuada nutrición, sino también de la intensidad de la respiración, de la excreción, el transporte de agua y sales minerales y de la regulación de todas estas funciones. Existen organismos en los que hay sistemas de órganos especializados en la regulación. Estos son el sistema nervioso y el endocrino.

### SABÍAS QUE...

El sistema inmunológico es considerado por muchos autores como un componente de la regulación. Su función principal consiste en destruir los agentes patógenos que atacan o afectan al organismo. Cualquier agente, ya sea un microorganismo o una molécula, se denomina antígeno y puede ser identificado como un agente extraño por el sistema inmunológico. Las respuestas de este sistema son de gran importancia y poseen una gran diversidad, lo que le posibilita reaccionar de forma adecuada ante los miles de antígenos que agreden a nuestro organismo.

Durante la participación de un atleta en una carrera de 100 m planos podemos analizar cómo se pone de manifiesto lo anteriormente planteado. La información relacionada con el estímulo del disparo inicial, es captada por los receptores auditivos del atleta. Esta información es procesada por los centros nerviosos que regulan los movimientos musculares para el inicio de la carrera. En esta actividad física intensa, el sistema nervioso envía señales a otros órganos y sistemas del organismo, y modifica las funciones vegetativas. Las frecuencias cardíaca y ventilatoria se elevan, lo que da como resultado que se incremente el transporte de dióxigeno a las células musculares, donde se intensifica la respiración celular; esto permite obtener mayor cantidad de energía, la que es utilizada en las contracciones musculares sostenidas que ocurren durante los movimientos de la carrera.

Este ejemplo demuestra que el organismo es una unidad íntegra en la que todas las partes y las funciones están estrechamente relacionadas entre sí y subordinadas al funcionamiento del todo (fig. 28).



Fig. 28 Esquema que representa la integridad biológica del organismo.

La integridad biológica de un organismo vegetal se puede observar cuando se realiza el trasplante de una planta y no tenemos la precaución de proteger adecuadamente

su raíz. El daño ocasionado en el sistema radicular puede afectar el sostén de la planta y la absorción y el transporte de agua hacia otros órganos como el tallo y las hojas. Esto alteraría, a su vez, la función de nutrición por déficit de agua, que como conocemos, es necesaria en las reacciones de la fotosíntesis, lo que trae como consecuencia que no se produzcan los productos orgánicos necesarios para obtener energía mediante la respiración y, por lo tanto, trastornos en el crecimiento y desarrollo de la planta.

En los próximos capítulos, podremos profundizar en las diferentes funciones que caracterizan a los organismos y comprender mejor que, dentro de la gran diversidad estructural y funcional, existen características comunes y regularidades que le confieren unidad a este nivel de organización de la materia.



### *Tarea*

1. Realiza un análisis de la definición de organismo y argumenta cada uno de sus aspectos esenciales.
2. Demuestra mediante un ejemplo los rasgos esenciales de los organismos, auxiliándote de la representación de la figura 28.
3. Explica la relación que se establece entre las parejas de funciones siguientes, utilizando como punto de partida sus definiciones y su relación con el metabolismo celular.
  - a) Transporte-respiración.
  - b) Nutrición-excreción.
  - c) Funciones vegetativas-reproducción.
4. Valora el planteamiento siguiente: "El organismo como un todo no es la simple suma de sus partes, sino una cualidad nueva surgida en el desarrollo ontogenético y filogenético".
5. En los ejemplos siguientes, identifica qué función o funciones de los organismos se afectan:
  - Aplicación, por las tropas yanquis, de una sustancia defoliadora\* sobre los cultivos durante la guerra de Vietnam.
  - Aplicación de biosepticidas\* para combatir plagas de mosquitos en Cuba.
  - a) Explica cómo se afecta la integridad biológica de las plantas y de los mosquitos. En tu explicación, debes tener en cuenta qué tejidos, órganos o sistemas de órganos se afectan en cada caso.
  - b) Compara ambas situaciones y valóralas teniendo en cuenta su influencia en la vida humana y en el medio ambiente.



## *Observación de organismos unicelulares y pluricelulares*

### *Materiales:*

- Cultivo de microorganismos, tallos u otros órganos de diferentes especies de plantas como, por ejemplo: el cordobán, cucaracha, orégano, entre otras, portaobjetos, cubreobjetos, goteros, bisturí o cuchilla, pinzas, aguja enmangada, papel de filtro, lápices de colores, algodón y microscopio óptico.

### *Técnica operatoria:*

Con anterioridad realizamos cortes longitudinales en el material biológico; en esta actividad práctica deberás tener en cuenta lo aprendido para obtener muestras delgadas de tejidos de plantas. En la figura 29 se indica la zona en la que debes efectuar el corte longitudinal del tallo para lo cual debes:

- Cortar longitudinalmente el tallo en dos mitades.
- Inclinar el bisturí o la cuchilla sobre la parte interior de una de las mitades cortadas, hasta penetrar ligeramente en el tallo.
- Realizar el corte longitudinal, inclinando la cuchilla en posición horizontal a la superficie.
- Separar la muestra obtenida con la ayuda de la cuchilla o las pinzas.

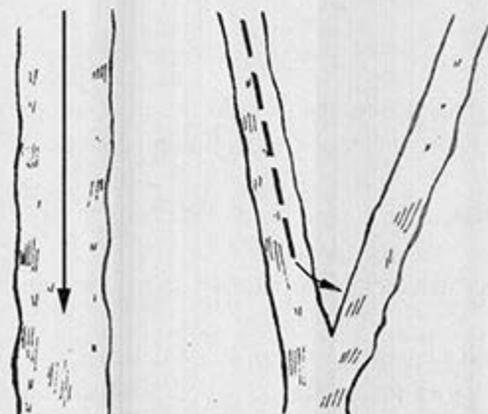


Fig. 29 Forma correcta de realizar el corte longitudinal.

1. Toma con el gotero una muestra del cultivo y colócala sobre el portaobjetos.
2. Ubica sobre la muestra unas pequeñas fibras de algodón lo más extendidas posible.

3. Examina la preparación al microscopio cuidando no mojar la lente objetiva. Observa entre las fibras de algodón, regula la luz mediante el diafragma, lo que permitirá contrarrestar la transparencia de los microorganismos; de no localizarlos repite los pasos anteriores.
4. Dirige tu atención a uno de los microorganismos. Descríbelo y dibújalo. ¿Por cuántas células está constituido? ¿Qué te permite asegurar que poseen estructura celular?
5. Deposita una gota de agua en otro portaobjetos.
6. Selecciona uno de los tallos de las plantas y con el bisturí o la cuchilla obtén una muestra tal y como se indica al inicio de esta actividad.
7. Traslada la muestra al portaobjetos y extiéndela. Cúbrela y elimina el exceso de líquido.
8. Observa la preparación al microscopio. ¿En qué se diferencia esta muestra con lo observado en el paso 4?
9. ¿Todas las células son iguales en estas muestras? ¿Qué te permite afirmar que las plantas tienen estructura celular? Identifica los diferentes tejidos. ¿Todos tienen las mismas características? Realiza el dibujo correspondiente.
10. Si se dispone de preparaciones fijas de tejidos animales, realiza la observación de algunos de ellos y responde las preguntas realizadas en el inciso anterior.
11. Analiza con tus compañeros y el profesor los posibles errores cometidos, compáralos con los que tuviste en las actividades prácticas que realizaste en 10mo. grado.

#### *Conclusiones:*

1. "Todos los organismos están constituidos por células". Argumenta el planteamiento anterior, teniendo en cuenta lo observado.
2. ¿Qué importancia tiene en los organismos pluricelulares lo observado en el paso 9?
3. Elabora una definición de organismo unicelular y de pluricelular que te permita diferenciarlos.
4. Confecciona un listado de otros organismos estudiados en grados anteriores y clasifícalos de acuerdo con las definiciones de la conclusión anterior. Valóralo con tus compañeros.

## REGULACIÓN DE LAS FUNCIONES

Los organismos funcionan como un todo ante los cambios energéticos que se producen en el medio ambiente y en el medio interno, y esto se logra mediante la interrelación estructural y funcional de las diferentes estructuras, tejidos, órganos y sistemas de órganos.

¿Por qué cuando se calienta el extremo de un portaobjetos que contiene una gota de un cultivo de paramecios, estos se alejan del área caliente? ¿Por qué cuando caminamos por un sendero y pisamos una planta de dormidera (*Mimosa pudica*), sus hojas se cierran? ¿Por qué cuando estamos en presencia de un alimento apetitoso, la cavidad bucal se nos llena de saliva? ¿Por qué cuando el bolo alimenticio llega al estómago, este aumenta la contractilidad de sus paredes internas y su secreción?

Independientemente del grado de complejidad estructural y funcional que presentan los organismos, *todos reaccionan ante los estímulos procedentes del medio ambiente y del medio interno, debido a la propiedad inherente a toda la materia viva, denominada irritabilidad.*

Al concluir el estudio de la función de regulación podremos dar respuesta a las interrogantes antes mencionadas, lo que nos permitirá comprender y explicar la relación entre las diferentes funciones del organismo.

### Características generales de la función de regulación de los organismos

Como conocemos, en dependencia del grado de complejidad estructural y funcional, en la naturaleza existe una gran diversidad de organismos, entre los cuales también se aprecia unidad, ya que todos realizan las funciones de nutrición, transporte de sustancias, respiración, excreción y reproducción, las cuales se coordinan por la función de **regulación**. Mediante esta los organismos *utilizan la información recibida desde el exterior o el interior, y responden, en consecuencia, manteniendo la homeostasia y posibilitando la adaptación a las nuevas condiciones del medio ambiente.*

Existe gran diversidad de mecanismos de regulación en dependencia del grado de complejidad de los organismos, en los cuales participan desde algunas moléculas hasta sistemas de órganos especializados. Ejemplos de estos últimos lo constituyen los sistemas nervioso, endocrino e inmunológico, presentes en algunos animales y en el organismo humano.

## SABÍAS QUE...

La utilización de la información, característica de todos los organismos, consiste en detectar estímulos, transformarlos en señales de diferente naturaleza, conducir y transmitir dichas señales que tienen codificada la información, procesarla, elaborar respuestas, conducirlas y ejecutarlas.

El mecanismo general de regulación presenta varios componentes: el *receptor*, las *vías*, el *modulador* y el *efector* (fig. 30).

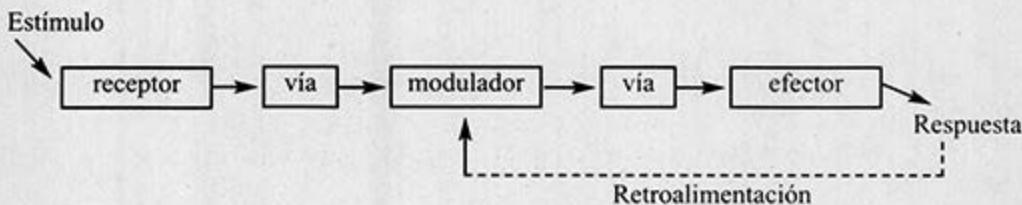


Fig. 30 Componentes del mecanismo general de regulación.

El mecanismo general de regulación se pone de manifiesto en el funcionamiento de todos los organismos: unicelulares, plantas, animales y el organismo humano.

Los organismos reciben la información en forma de **estímulos**, que son variaciones energéticas procedentes, tanto del medio ambiente como del medio interno, por ejemplo: un bajo nivel de glucosa en sangre, una variación de la temperatura ambiental, la presencia de determinados microorganismos en el interior del organismo humano, la caída de las hojas y la maduración de los frutos, entre otros.

Los estímulos son detectados por los *receptores*, cuya función es transformar esa información en señales de distinta naturaleza, que finalmente son conducidas por una *vía* determinada hasta el modulador. En este se procesa la información y se elabora la respuesta adaptativa, la cual es conducida por otra *vía* hasta él o los efectores, que son las estructuras que la ejecutan.

La *respuesta* constituye, a su vez, una nueva información para el modulador, por lo que el mecanismo no concluye con su ejecución, sino que ocurre la **retroalimentación**, mediante la cual, la respuesta inicial dada a un estímulo es modificada o sostenida, según las condiciones del organismo (ver fig. 30).

En el décimo grado estudiamos que, debido a la diferente concentración de iones  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  y aniones indifusibles en el interior de las células, con respecto al exterior, se establece una diferencia de potencial eléctrico entre el exterior y el interior de la membrana que se denomina **potencial de membrana**. Cuando la célula no ha sido estimulada, este potencial recibe el nombre de **potencial de membrana en reposo** (PMR). Las variaciones del PMR constituyen la base fundamental de la **excitabilidad**, propiedad característica de los organismos que poseen células especializadas en la utilización de la información, como las neuronas y las células musculares.

## SABÍAS QUE...

El PMR de un eritrocito humano es de  $-10$  mV, mientras que el de las neuronas es de  $-60$  mV.



### Tarea

1. Observa la figura 30 y explica la interrelación que existe entre los componentes del mecanismo general de regulación.
2. Explica, mediante un ejemplo, la importancia de la función de regulación para los organismos.
3. ¿Qué diferencia existe entre irritabilidad y excitabilidad?

## Regulación en plantas

Todos, de una forma u otra hemos visto germinar una semilla y cómo a partir de ella se origina una planta de frijol, de mango, de aguacate o de naranja según su especie.

En ese proceso de crecimiento y desarrollo, a partir del cigoto, se diferencian los distintos tejidos que constituyen los órganos de la planta. Uno de los ejemplos más atractivos es sin lugar a dudas el paso del estado vegetativo de una planta adulta, al estado reproductivo, es decir la planta que presenta flores y frutos.

Además, ya conocemos que el crecimiento de las plantas está asociado al alargamiento de los tallos, al surgimiento de nuevas ramas y hojas que van dando mayor follaje al árbol y al crecimiento de las raíces que se hacen cada vez más profundas y gruesas y con más ramificaciones.

¿Cómo ocurre este crecimiento y desarrollo?

Las plantas no tienen sistemas de órganos especializados en la regulación, no obstante, mantienen el equilibrio del organismo. A diferencia de los animales que tienen forma definida, las plantas superiores tienen como características la variabilidad de su forma, no obstante, mantienen una cierta coordinación entre los órganos, de tal forma que existe un crecimiento equilibrado.

Entonces, ¿cómo se realiza en ellas la función de regulación? Esto se logra con la participación de las propias células que forman los órganos de la planta, las que actúan como receptores, moduladores y efectores, y elaborando respuestas adecuadas a nivel de

tejido. Estas respuestas pueden ser, por ejemplo, la caída de las hojas, el crecimiento, los cambios que se producen durante la maduración de los frutos, la floración, entre otras. Por otra parte, los genes controlan la síntesis de las enzimas que regulan el metabolismo celular que posibilita esas respuestas.

Los mecanismos reguladores, conjuntamente con otros factores, les permiten a las plantas resistir todas las fluctuaciones que se producen a causa de los disímiles estímulos que constantemente detectan. De esta forma mantienen el equilibrio dinámico interno.\* Entre los factores del medio ambiente que actúan y pueden modificar el crecimiento y desarrollo de las plantas se encuentran la luz, la temperatura, la humedad, la presencia de iones minerales, el CO<sub>2</sub>, entre otros.

La homeostasia en estos organismos se logra mediante *reguladores del crecimiento* como: las vitaminas, los minerales y, en especial, las fitohormonas u hormonas vegetales.

### SABÍAS QUE...

**Las plantas pueden percibir variaciones del medio ambiente y detectar la dirección, la intensidad y la duración de la luz, así como la dirección de la gravedad y la del viento.**

**Las fitohormonas** son compuestos orgánicos que se sintetizan en algunas partes de la planta y que se traslocan a otras partes, donde a muy bajas concentraciones, causan una respuesta fisiológica. Las hormonas vegetales, a diferencia de las de los animales, no se sintetizan en órganos estructuralmente formados como las glándulas y, en ocasiones, el sitio de síntesis y el de acción no son fácilmente distinguibles por su proximidad. Por otra parte las hormonas vegetales no tienen la especificidad de acción de las hormonas animales; de este modo pueden participar en la regulación de procesos muy diferentes, como por ejemplo, en el caso de la *giberelina*, la regulación de la floración y de la germinación de las semillas.

La respuesta a la acción de las fitohormonas no necesariamente es la estimulación del crecimiento, ya que en ocasiones este es inhibido por hormonas, como por ejemplo el *ácido abscísico*, que promueve la caída de las hojas.

Las hormonas vegetales se desplazan desde donde se producen, hasta las zonas donde influyen, generalmente mediante la savia. Entre las hormonas vegetales, son conocidas por sus efectos reguladores: las *auxinas*, las *giberelinas*, las *citoquininas*, el *etileno* (etenol) y el *ácido abscísico*. Estas pueden actuar solas o interrelacionadas durante un determinado proceso. *La interrelación entre las diferentes concentraciones de hormonas es el llamado balance fitohormonal*, que constituye la forma fundamental de regulación en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por ejemplo, en la caída de las hojas intervienen auxinas y ácido abscísico en diferentes concentraciones. Cuando la concentración de auxinas es mayor, las hojas se retienen en la planta, pero si aumenta la concentración del ácido abscísico, las hojas se caen.

Las auxinas (del griego *aúxe*, crecimiento) fue el primer grupo de hormonas vegetales descubiertas con acción sobre el crecimiento. Generalmente se producen en las regiones de constante actividad de crecimiento, como los ápices de los tallos donde se encuentra el tejido meristemático (meristemo apical\*). Aquí se produce la auxina, la cual se difunde hacia las células cercanas y provoca su alargamiento; de igual forma ocurre en los ápices de las raíces, en las hojas jóvenes y partes de flores y frutos en desarrollo, aunque se encuentran ampliamente distribuidas por toda la planta. Sus efectos contribuyen a regular el crecimiento, el incremento de la respiración celular, la caída de las hojas, la dominancia apical y otras funciones.

### **SABÍAS QUE...**

**La dominancia apical es la inhibición que ejerce la yema apical sobre el crecimiento de las axilares. Los jardineros, al cortar el ápice de los tallos eliminan la dominancia apical ejercida por la auxina, por lo que se inhibe el crecimiento en longitud y se desarrollan las ramas laterales pudiendo mantener la misma altura. De esta forma, se establecen verdaderos "muros vivos" como los de casuarina y otras especies, en parques y jardines.**

Las auxinas, principal grupo de hormonas del crecimiento en las plantas, permiten el alargamiento de las células, debido a que afectan la formación de los materiales que constituyen la pared celular. Al sintetizarse estos materiales, se adicionan a la pared y se produce el alargamiento de la célula. De esta forma crecen los tallos, las raíces y las flores.

El hombre, conociendo la importancia de las auxinas, las emplea en plantas de interés económico, como las ornamentales y los frutales. Por ejemplo, para obtener con mayor rapidez plantas con flores, se colocan estacas de esas plantas en soluciones de auxinas a una determinada concentración, lo que origina la aceleración del crecimiento y desarrollo de las raíces, es decir, el enraizamiento de las estacas. Esto provoca beneficios en la agricultura, por ejemplo en los cultivos de frutales, se obtienen nuevas plantas en un tiempo mucho más breve en relación con la germinación de la semilla. Además, si se riega por aspersión\* las hojas de las plantas con una solución de una concentración adecuada de auxinas, se aceleran los procesos de floración y fructificación en esos mismos cultivos. Si, por el contrario, lo hacemos con una alta concentración, esta traerá como consecuencia la aceleración notable de los procesos degradativos del metabolismo, por lo que se "queman" las plantas; de ahí que este método se utilice en algunos casos como herbicida, es decir para eliminar las plantas indeseables.

Conociendo las causas del empleo de herbicidas, así como otros aspectos aportados por el desarrollo de la ciencia y la técnica, el hombre no solo utiliza esos conocimientos en servicio de la humanidad. Por ejemplo, durante la guerra biológica contra Vietnam, el imperialismo utilizó ese método para defoliar los principa-

les cultivos, suministrándoles altas concentraciones de sustancias con efecto auxínico.

### **SABÍAS QUE...**

**La giberelina fue descubierta en el año 1926 cuando unos investigadores japoneses, al estudiar el hongo *Fusarium heterosporum* en plántulas de arroz, descubrieron que el hongo secretaba una sustancia que estimulaba el crecimiento por elongación de los entrenudos de las plantas.**

Las giberelinas actúan en varios procesos del crecimiento y desarrollo de las plantas como la floración, la formación de los frutos y en la germinación de las semillas. En este último proceso, su acción posibilita la movilización de los nutrientes almacenados en los cotiledones de la semilla (grasas, minerales, almidón, proteínas), hasta el embrión de estas cuando son colocadas en condiciones adecuadas de humedad y temperatura para que se lleve a cabo la germinación.

Las giberelinas tienen varios usos en la agricultura. Por ejemplo, sus aplicaciones en concentraciones adecuadas hacen que los racimos de uvas se alarguen y así no estén tan apretados, además de que los hacen menos susceptibles a las infecciones por hongos. En algunos países, también se utilizan para incrementar el crecimiento de la caña de azúcar y, en consecuencia, aumentar la producción neta de azúcar.

### **SABÍAS QUE...**

**Las coles, que presentan crecimiento en roseta y tienen los entrenudos muy cortos, pueden crecer hasta 2 m de altura con aplicaciones de giberelina.**

Las citoquininas se sintetizan generalmente en los ápices de las raíces y se transportan hacia los sitios en crecimiento. Estas actúan retardando el envejecimiento y muerte de las plantas.

Las auxinas y giberelinas actúan en la elongación de las células, las citoquininas regulan la división celular y estimulan la citocinesis, es decir, la división del citoplasma y la formación de las nuevas células en cada división. De esta forma, en las zonas en crecimiento, la acción de las auxinas y las citoquininas hacen posible el incremento del número de células y el tamaño de estas.

En la vida diaria, muchas veces, cuando queremos madurar mangos, plátanos o tomates, los colocamos, por ejemplo, en el horno, o los envolvemos en periódicos, pues sabemos, por la práctica, que maduran más rápido. ¿A qué se debe esto?

El etileno es un gas que se produce en todas las partes de las plantas con semillas; su efecto se hace evidente durante la maduración de los frutos. En el proceso de maduración, los frutos cambian la coloración de verde a naranja, rojo o amarillo; se hacen más blandos, cambian de ácidos a dulces y se producen sustancias volátiles que le confieren un olor característico como, por ejemplo, el olor típico del mango, de la guayaba, la piña

y de muchos otros. Como podemos apreciar, el efecto del etileno se debe a su carácter volátil. Este también ha sido empleado en los cultivos de la piña, para provocar una floración homogénea.

En la vida práctica se utilizan algunas sustancias como el carburo de calcio, el cual, al reaccionar con el agua del medio ambiente, produce un gas con efectos similares al etileno, aunque no debemos confundir su naturaleza química inorgánica con la de esta fitohormona.

El ácido abscísico actúa provocando la caída de las hojas, flores y frutos. En las semillas promueve el estado de letargo, o sea, semillas sin germinar. Cuando estas se mantienen secas, por ejemplo en condiciones de almacenamiento, la cantidad de ácido abscísico es alta, pero cuando se colocan en condiciones adecuadas de luz, temperatura y humedad, se incrementa la producción de giberelina y germinan.

Por sus múltiples aplicaciones en la agricultura, el estudio de las fitohormonas y la obtención de diversos compuestos sintéticos con efectos similares ha adquirido en los últimos tiempos un gran desarrollo en nuestro país.

### SABÍAS QUE...

La producción de vitroplantas a partir de tejido meristemático y otros tejidos se efectúa en medios de cultivo nutritivos en los que se aplica, a los callos formados, hormonas vegetales (auxinas, giberelinas y citoquininas), con lo que se garantiza la diferenciación de plántulas dotadas de todas las propiedades de la planta que le dio origen con una velocidad de propagación muy superior a la normal ( fig. 31).

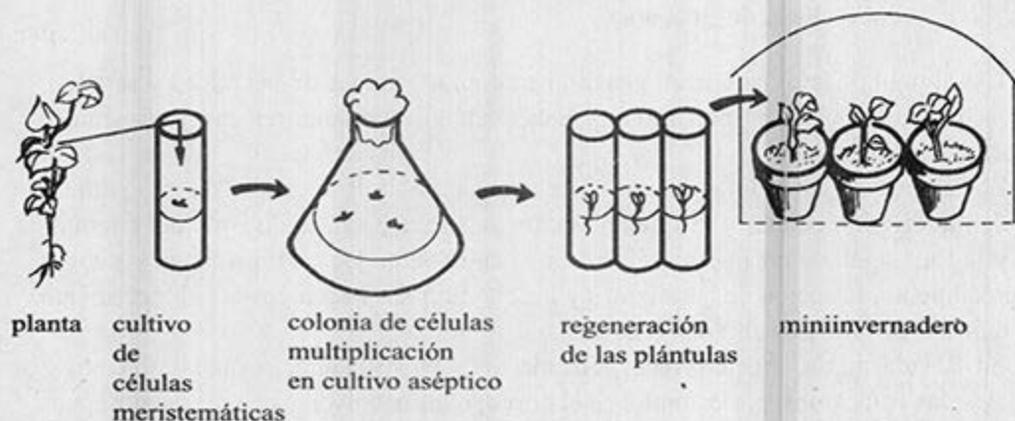


Fig. 31 Diferentes etapas en la producción de vitroplantas.

En el cuadro 2 se resumen algunos reguladores del crecimiento y las funciones que desarrollan en las plantas.

## Funciones de algunos reguladores del crecimiento en las plantas

<i>Regulador del crecimiento</i>	<i>Funciones</i>
Auxina	Alargamiento de células en tallos y raíces, fototropismo, desarrollo de tejido vascular, dominancia apical y otros
Giberelinas	Germinación de semillas, brote de yemas, elongación de tallos, estimula la floración y el desarrollo de los frutos
Citoquininas	Promueve la división celular, previene la senescencia, estimula el desarrollo del fruto y del embrión
Ácido abscísico	Promueve el estado de letargo de semillas y yemas, caída de hojas y frutos y el cierre de los estomas
Etileno	Maduración de los frutos, abscisión de frutos, hojas y flores, inhibe la elongación de los tallos

En las plantas superiores generalmente las *vitaminas* son sintetizadas según sus necesidades. Son compuestos orgánicos que, a bajas concentraciones, también actúan como reguladores del crecimiento al desempeñar funciones catalíticas en el metabolismo celular. Como conocemos, entre las vitaminas podemos citar: A, B<sub>1</sub>, B<sub>6</sub> y C.

Los precursores de la vitamina A, los carotenoides, son pigmentos asociados a la actividad de las clorofilas, ya que transfieren la energía a la clorofila especial en el proceso fotosintético.

La vitamina B<sub>1</sub> tiene una función importante en el crecimiento de las raíces y la B<sub>6</sub>, presente en tallos, raíces, semillas y frutos, participa en el metabolismo de los aminoácidos.

La vitamina C, presente en todas las partes de la planta, se incrementa en las hojas y los frutos. Tiene una participación activa en las reacciones de la fosforilación, durante la fotosíntesis.

Las vitaminas tienen una extraordinaria importancia en la dieta del hombre y demás animales, quienes, a diferencia de las plantas, no pueden sintetizarlas y deben ingerirlas en la dieta. El hombre, conocedor de estos aspectos, educa a la población en el consumo de vegetales verdes y frescos.

Los minerales también participan de formas disímiles en la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas. El magnesio, por ejemplo, forma parte de la molécula de clorofila, sin la cual no puede efectuarse el proceso fotosintético; también activa a muchas enzimas que actúan en el metabolismo de los glúcidos y otras que participan en la síntesis de los ácidos nucleicos.

El manganeso actúa como activador enzimático del proceso de la respiración y del metabolismo del nitrógeno y el zinc interviene en la biosíntesis de las auxinas, ya que activa las enzimas que intervienen en este proceso.

Otro mineral de gran importancia es el fósforo; este participa en todas las reacciones energéticas del metabolismo y, como ya conocemos, forma parte de las moléculas de monofosfato de adenosina (AMP), de difosfato de adenosina (ADP) y de trifosfato de adenosina (ATP), entre otros compuestos. De igual forma, el hierro forma parte de la estructura de los citocromos, que como ya es sabido son un tipo de proteína que participa en la transferencia de electrones durante la cadena respiratoria que ocurre en la respiración aerobia.

El ciclo de vida de una planta es el resultado de una compleja interacción entre la información genética y la del medio ambiente. Las hormonas median los procesos de crecimiento y desarrollo en cada estadio, desde la germinación hasta la reproducción, en los que los niveles de los distintos reguladores del crecimiento logran un balance que hace posible el funcionamiento adecuado de la planta.

En las plantas se dan movimientos que no son tan perceptibles como en los animales, pero que facilitan al organismo ocupar un lugar más favorable en el medio ambiente a pesar de su modo de vida fijo. En la realización de estos movimientos, la planta percibe modificaciones del ambiente que constituyen estímulos, utiliza la información percibida y responde de modo adecuado.

El estímulo actúa sobre alguna parte de la planta que constituye el receptor. Una vez recibido, este es cambiado, o sea transducido a una forma que se denomina señal, la que origina una respuesta motora, como el crecimiento o la acción de los pulvínulos,\* por ejemplo. De esta forma la regulación en las plantas incluye la recepción del estímulo, su transducción en señal y la ejecución de la respuesta.

Al no tener órganos especializados en recibir estímulos, la recepción en las plantas se efectúa por los diferentes órganos, como las raíces, las hojas y los tallos, los que, a su vez, pueden responder a los distintos estímulos.

Se trata de determinados movimientos de curvatura, torsiones y plegamientos que se llevan a cabo por órganos o por todo el organismo de la planta. La mayor parte de estos movimientos se pueden agrupar en **tropismos** (del griego *tropé*, volverse), en los que la dirección del estímulo ambiental determina la dirección del movimiento, y los movimientos **násticos** o **nastias** (del griego *nastos*, obstruido por presión), en los que la dirección del estímulo no determina la dirección del movimiento.

Tanto los movimientos de tropismo como los násticos son a menudo el resultado de un crecimiento diferencial que puede ser o no irreversible.

Las variaciones de las condiciones del medio ambiente que provocan un movimiento vegetal u otras respuestas, son los estímulos. Estos, con frecuencia, inducen en la planta un proceso que continúa después que ya no exista en su forma inicial, por ejemplo el movimiento diario de las hojas que cambian su dirección en respuesta a la salida o puesta del sol.

Analicemos un ejemplo de tropismo. Todos conocemos que, en el crecimiento de las plantas, siempre el tallo crece en dirección a la luz y las raíces hacia el interior de la tierra. Las raíces aéreas, también tienen el crecimiento hacia la tierra.

Al colocar una plántula de maíz o frijol en una caja cerrada que presenta un orificio lateral por el cual puede penetrar la luz, podrá observarse, al transcurrir 24 h aproximadamente, que el tallo se inclina hacia la fuente de iluminación (fig. 32a). Ello demuestra la acción de la luz sobre el crecimiento del tallo. La inclinación del tallo aumenta en proporción al tiempo en que las plántulas se mantienen en estas condiciones. En este caso, la respuesta de crecimiento es permanente, y se produce por un crecimiento desigual de las zonas del tallo. Las auxinas actúan en este proceso.

Un ejemplo de nastia se aprecia al tocar las hojas de la dormidera (*Mimosa pudica*) y observar cómo se cierran las hojas (fig. 32b). La explicación es que las hojas se mantienen erectas normalmente por la acción de unas células grandes y turgentes que se encuentran en la base de los pecíolos de las hojas. El estímulo de contacto provoca rápidamente la transmisión de una señal química (probablemente la auxina), desde el punto de contacto hasta la base de la hoja, donde se encuentran las células turgentes; esto provoca una rápida pérdida de agua por ósmosis, las células turgentes se plasmolisan y se ponen flácidas, lo que provoca que las hojas pierdan la turgencia y queden colgando. Con ello se interrumpe el estímulo. Las hojas restablecen su estado normal después de unos 15 min aproximadamente.

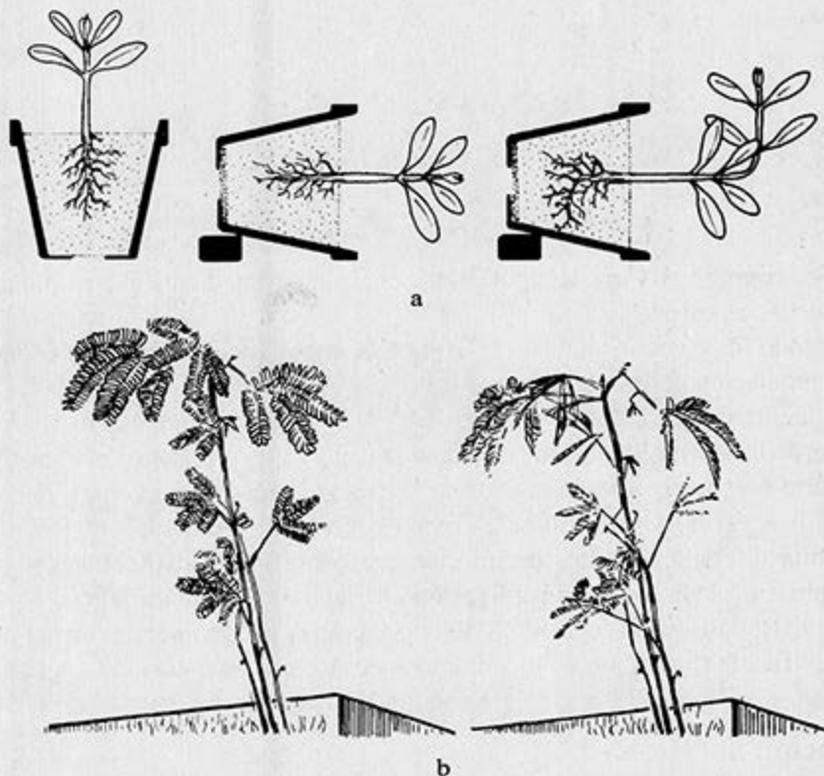


Fig. 32 Representación de un ejemplo de: a) tropismo: acción de la luz sobre el crecimiento del tallo (fototropismo); b) nastia: cierre de las hojas en *Mimosa pudica*.

### **SABÍAS QUE...**

Otro ejemplo interesante de nastia es el de las plantas carnívoras. En la planta "atrapamoscas", las hojas se cierran cuando el insecto toca los pelos que se encuentran en la superficie interna de las hojas, atrapando de esta forma al insecto.

En algunas plantas se dan movimientos que son regulados por factores internos, como el crecimiento temporal desigual de los distintos lados del tallo y que determina el crecimiento arrollador de algunas plantas sobre un vástago.

### **SABÍAS QUE...**

En la uva y algunos frijoles se observan como hilos enroscados denominados zarcillos mediante los cuales la planta se "agarrar". Ello se produce por movimientos circulares determinados por un crecimiento unilateral que va cambiando cíclicamente alrededor de un eje.



### **Tarea**

1. Explica cómo se produce la regulación en las plantas mediante el ejemplo de la función de las auxinas.
2. Utilizando los ejemplos del texto. Explica la importancia del balance fitohormonal en la regulación de las plantas.
3. En el laboratorio se colocan dos cajas (A y B) que contienen plátanos verdes procedentes de un mismo racimo, se echan en la caja A varios plátanos maduros. Al cabo de cierto tiempo se observa que los de la caja B se mantienen verdes, mientras que los de la A están todos maduros. ¿Cómo explicarías lo ocurrido?
4. Consulta diferentes fuentes de información científica o instituciones agrícolas y ejemplifica las ventajas de la aplicación artificial de las fitohormonas.
5. Ejemplifica la función reguladora de las vitaminas y los minerales en las plantas.
6. Ejemplifica la regulación de movimientos por tropismos y nastias.

### **Regulación nerviosa**

Como conocemos, los organismos menos complejos como las bacterias, los protistas y los hongos no poseen estructuras especializadas en la regulación, sin embargo, reac-

cionan ante los estímulos, debido a la propiedad de irritabilidad, con una respuesta adaptativa como resultado de la actividad metabólica de las células.

### SABÍAS QUE...

**Durante el proceso evolutivo, en los organismos pluricelulares, determinadas células desarrollaron considerablemente la irritabilidad, lo que constituyó la base de los tejidos excitables que forman parte de sistemas especializados en la regulación como, por ejemplo, el sistema nervioso.**

La **excitabilidad** es una forma particular de la irritabilidad y se define como la propiedad de algunos tipos de células de detectar variaciones muy pequeñas de energía en el medio que las rodea y responder ante ellas con alteraciones de su PMR y de su metabolismo.

Los tejidos excitables son el nervioso y el muscular, por lo tanto, las células excitables son las células receptoras, las neuronas y las fibras musculares (fig. 33).

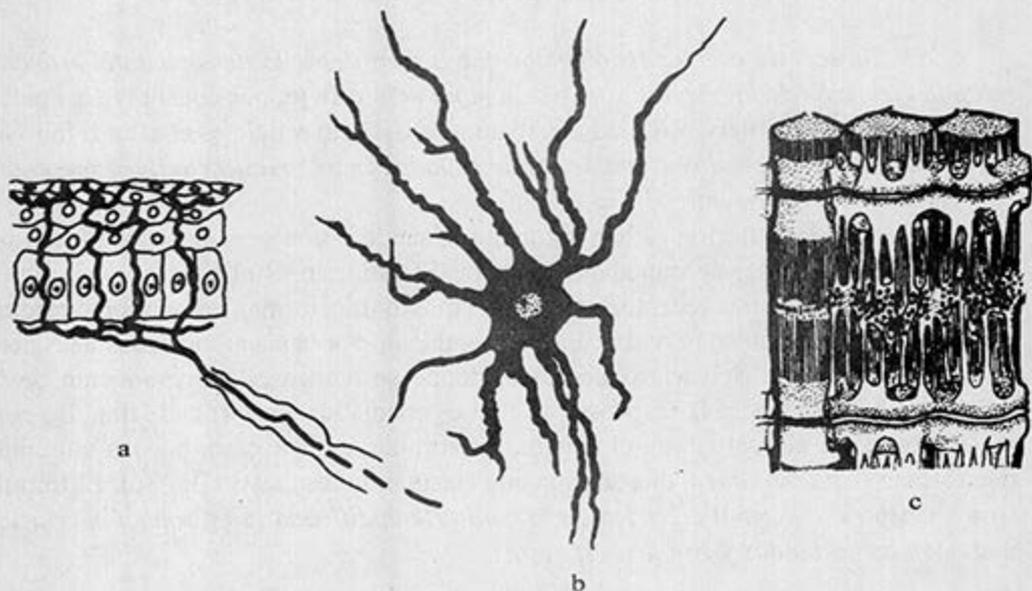


Fig. 33 Células excitables: a) terminaciones nerviosas libres; b) neurona multipolar; c) fibra muscular estriada.

El *sistema nervioso* constituye uno de los sistemas de regulación y está especializado en la utilización de la información. En este sentido, detecta, transforma, conduce, transmite, procesa y almacena información, transformándola, finalmente, en respuestas adaptativas.

El mecanismo de regulación nerviosa consta de los mismos componentes que el mecanismo general de regulación, pero con sus particularidades (fig. 34).



Fig. 34 Componentes del mecanismo de regulación nerviosa.

### SABÍAS QUE...

Las células excitables se caracterizan por la desproporción que existe entre la magnitud energética del estímulo y la de la respuesta, por ejemplo, un fotón\* que incide sobre una célula receptora en la retina del ojo, puede poner en movimiento, a través de la membrana, aproximadamente 60 000 iones, lo que demuestra que en estas células la energía del estímulo no se emplea directamente en la ejecución de la respuesta, sino que actúa como un mecanismo de “disparo” de procesos celulares más complejos.

*A la secuencia de eventos fisiológicos que ocurre desde la detección del estímulo hasta la ejecución de la respuesta se le denomina **acto reflejo**, que constituye la unidad funcional del sistema nervioso. La base anatómica del acto reflejo es el **arco reflejo** en el cual las diferentes células excitables están situadas en una secuencia fija y presentan conexiones funcionales entre sí (fig. 35).*

Analicemos la situación refleja siguiente. Cuando a una persona se le pincha un brazo sorpresivamente, de inmediato lo retira. El estímulo es el pinchazo, el que es detectado por estructuras receptoras de la piel que lo transforman en una señal eléctrica que origina un impulso nervioso. Este es conducido por la vía aferente hasta las neuronas que constituyen el centro nervioso, donde se realiza el procesamiento de la información y se elabora la respuesta, la cual es conducida, en forma de impulso nervioso, por la vía eferente hasta el efector, constituido, en este caso, por los músculos que forman parte del brazo, que son los que ejecutan la respuesta (fig. 36). El **impulso nervioso es una señal eléctrica en la cual está codificada la información relacionada con los estímulos y con las respuestas.**

### SABÍAS QUE...

La mayoría de las actividades del organismo tienen carácter reflejo; uno de los científicos que más contribuyó a fundamentar esto y especialmente, al estudio de los reflejos condicionados fue el fisiólogo ruso Ivan Petrovich Pavlov (1849-1936) (fig. 37). El desarrollo actual de su doctrina constituye una de las bases científico-naturales más importantes de la psicología materialista dialéctica del reflejo.

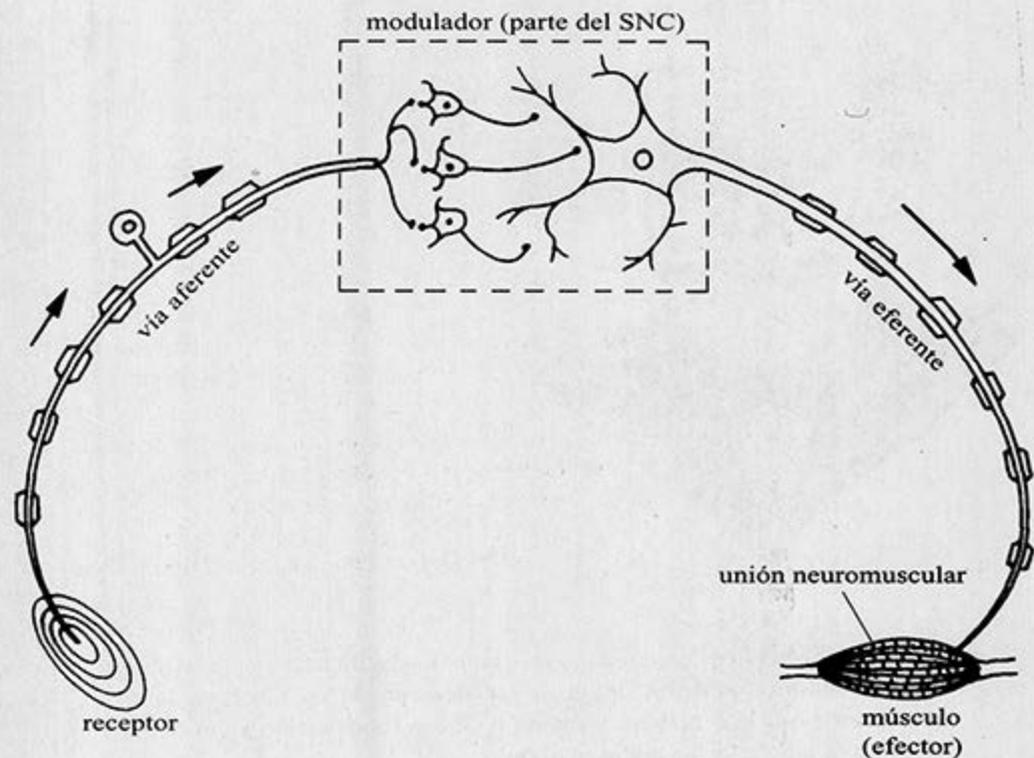


Fig. 35 Representación del arco reflejo y sus componentes.

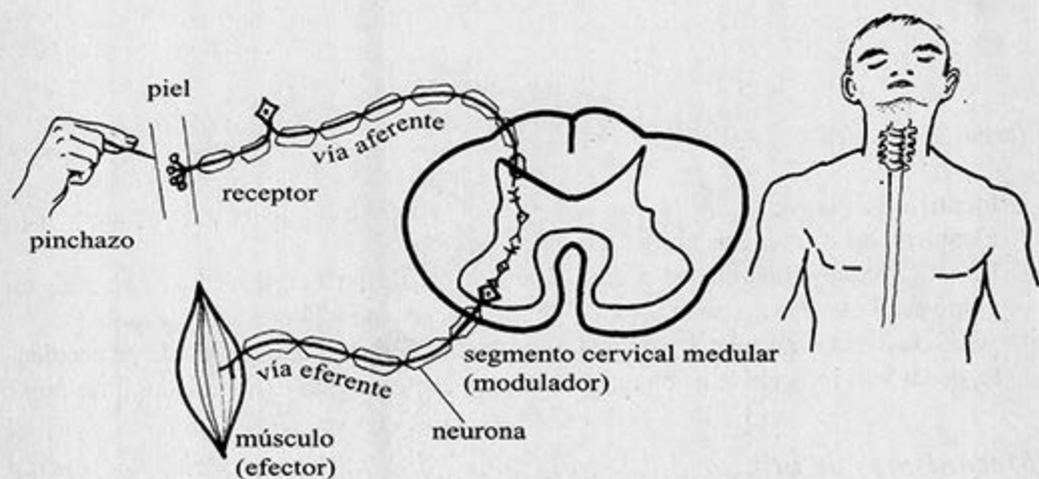


Fig. 36 Representación esquemática de un arco reflejo a nivel medular.



Fig. 37 Ivan Petrovich Pavlov (1849 – 1936).

### SABÍAS QUE...

Los anestésicos bloquean el funcionamiento de los receptores y la conducción de los impulsos nerviosos por la vía aferente, de modo que el centro nervioso no recibe la información y la persona pierde la sensibilidad al dolor.



### Tarea

1. Identifica en la figura 34 los componentes del mecanismo general de regulación.
2. Establece las diferencias entre arco y acto reflejo.
3. Investiga cómo funciona el mecanismo de regulación nerviosa cuando se da un golpe seco por debajo de la rótula y como consecuencia la pierna se levanta.
4. ¿Qué consecuencias tendrá para una persona la lesión, como resultado de un accidente, de las vías motoras relacionadas con la musculatura de las extremidades inferiores?

### *Mecanismos de utilización de la información por las células excitables*

La **neurona** es la menor unidad del sistema nervioso capaz de generar, conducir y transmitir impulsos nerviosos y de integrar información.

Como se observa en la figura 38, la neurona multipolar presenta tres partes: el cuerpo o soma, las dendritas y el axón.

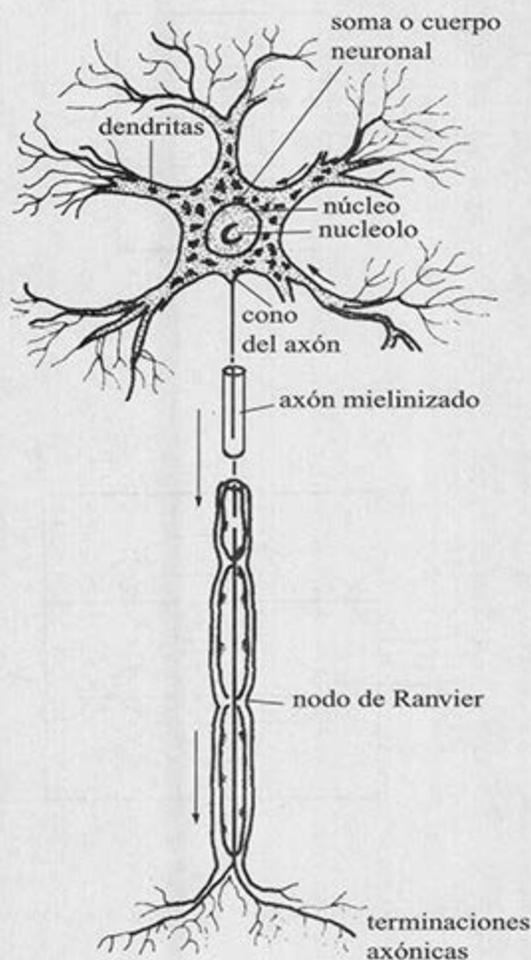
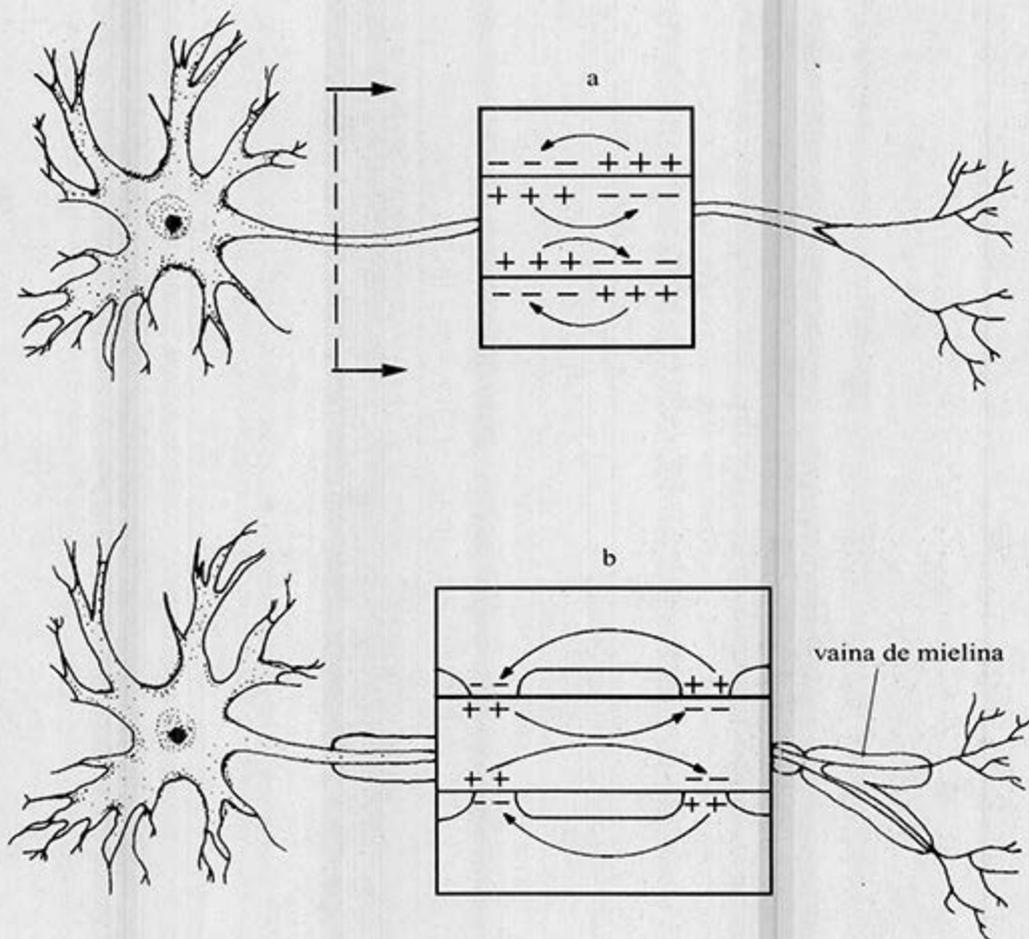


Fig. 38 Neurona multipolar.

El *cuerpo* puede presentar diferentes formas y dimensiones, contiene el núcleo con uno o dos nucleolos y a los demás orgánulos y estructuras celulares. Las *dendritas* son prolongaciones del cuerpo celular que se encuentran en número variable y conducen las señales eléctricas hacia el cuerpo de la neurona. El *axón* o fibra nerviosa es una prolongación única que se caracteriza porque puede presentar o no una vaina de mielina. Esta es una sustancia aislante y la vaina que forma es interrumpida cada ciertos tramos. El axón conduce los impulsos nerviosos hacia fuera de la neurona; de forma continua, en los axones que no presentan mielina y, a saltos, en los que sí la presentan (fig. 39).



**Fig. 39** Conducción del impulso nervioso en el axón de una neurona: a) de forma continua; b) de forma saltatoria.

### SABÍAS QUE...

Las interrupciones de la vaina de mielina se denominan **nodos de Ranvier** y determinan que la conducción del impulso nervioso se efectúe a saltos. En ellos la velocidad de conducción es muy alta, pudiendo ser de hasta 120 m/s.

Existen diferentes tipos de neuronas según el número de prolongaciones que presentan; en dependencia de ello, se clasifican en monopolares, bipolares y multipolares (fig. 40).

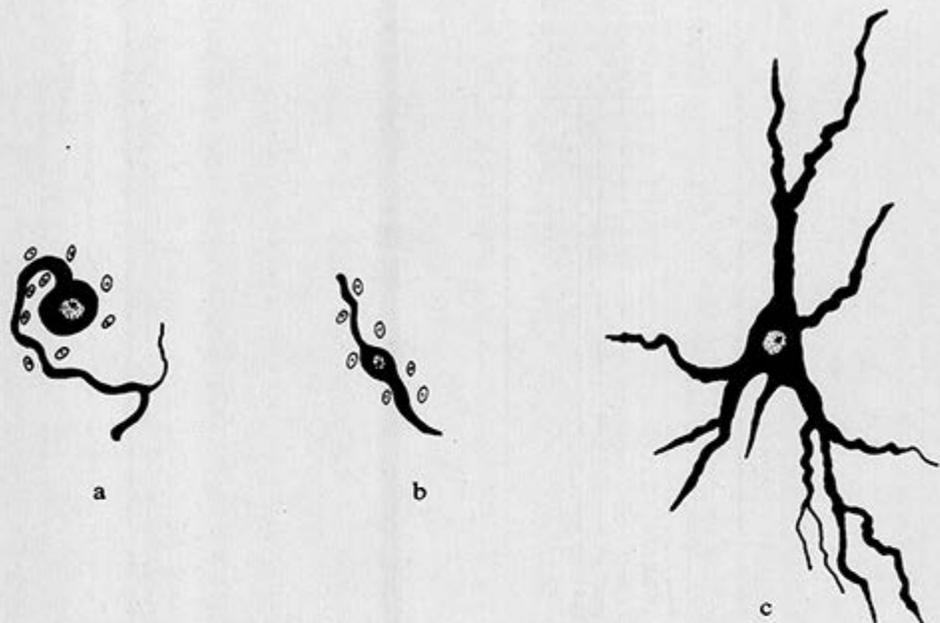


Fig. 40 Tipos de neuronas: a) monopolar; b) bipolar; c) multipolares.

### SABÍAS QUE...

**Las neuronas también se clasifican desde un punto de vista funcional, en sensoriales, intercaladas o de asociación y motoras.**

Durante el acto reflejo se producen variaciones del PMR en los diferentes componentes del arco reflejo; estas variaciones se deben al movimiento de diferentes iones a través de la membrana citoplasmática, entre los que desempeñan una función fundamental los iones sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y cloruro ( $\text{Cl}^-$ ). De esta forma, cuando se recibe un estímulo, el receptor transforma la energía en una señal eléctrica, la que provoca la generación de un impulso nervioso que se conduce por la vía aferente hasta el centro nervioso.

Como ya hemos visto, el impulso nervioso puede conducirse a lo largo de una neurona en forma continua o en forma saltatoria. ¿Qué ocurre cuando llega al final del axón? ¿Cómo se transmite hacia otras neuronas? Cuando esto ocurre, se produce su transmisión a la neurona siguiente mediante la *sinapsis* o *transmisión sináptica*.

La **sinapsis** es la relación funcional que se establece, por lo general, entre el axón de una neurona y la membrana de la neurona siguiente (fig. 41).

### SABÍAS QUE...

A principios del siglo XX el eminente neurohistólogo español Santiago Ramón y Cajal demostró la discontinuidad estructural entre las neuronas y creó las bases para el posterior descubrimiento del mecanismo de la sinapsis.

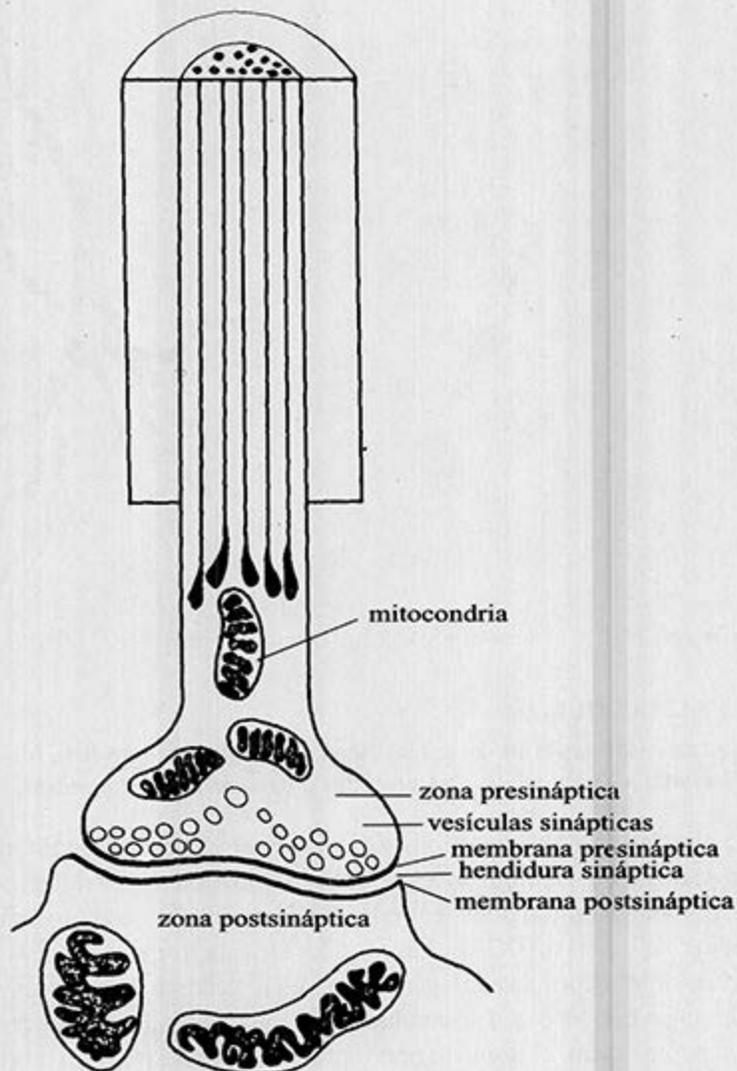


Fig. 41 Estructura de una sinapsis neural.

Como se observa en la figura 41, estructuralmente la sinapsis presenta tres zonas: la *zona presináptica*, donde se observa la presencia de un gran número de mitocondrias y de las vesículas sinápticas que contienen al neurotransmisor y la presencia de una membrana presináptica; la *hendidura sináptica*, que es el espacio entre la neurona presináptica y la neurona postsináptica y la *zona postsináptica*, que presenta una membrana con igual nombre y numerosas mitocondrias.

Esta relación funcional se efectúa mediante neurotransmisores o mediadores químicos que se almacenan en las vesículas sinápticas contenidas en la terminación del axón y que son liberados con la llegada del impulso nervioso.

#### **SABÍAS QUE...**

**Además de la sinapsis neural, existe un tipo de sinapsis que se establece entre la terminación axónica de una neurona motora y la membrana de una fibra muscular y recibe el nombre de unión neuromuscular o placa motora.**

Al llegar el neurotransmisor a la membrana siguiente, la estimula químicamente mediante la unión con una proteína receptora situada en la membrana postsináptica, lo que causa la generación de una señal eléctrica que provoca, a su vez, la generación de un impulso nervioso.

En los centros nerviosos dicho impulso se transforma al recorrer los "circuitos" formados por numerosas neuronas interconectadas que forman complejas "redes", lo que permite la elaboración de las respuestas.

El impulso que contiene la información relacionada con la respuesta elaborada en el centro nervioso, es conducido por el axón de dicha neurona hasta el efector. Si el efector es, por ejemplo, un músculo esquelético, se contrae y se produce un movimiento en la parte del cuerpo a la que pertenece.

#### **SABÍAS QUE...**

**Los neurotransmisores sinápticos pueden causar efectos excitatorios e inhibitorios. Si el neurotransmisor es excitatorio puede provocar la generación de un impulso nervioso en la neurona motora y se observa, finalmente, una respuesta; por el contrario, si es inhibitorio, no genera impulsos nerviosos en la neurona motora, por lo que no se produce una respuesta evidente.**

El efector no siempre es un músculo esquelético, puede ser un órgano que presenta en su pared fibras musculares lisas, como por ejemplo el estómago, la vejiga urinaria o las fibras musculares cardíacas del corazón. También puede ser una glándula, como por ejemplo las glándulas sudoríparas, las salivales, entre otras.

#### **SABÍAS QUE...**

**Los psicofármacos y otras sustancias como por ejemplo, el alcohol y otras drogas, "compiten" con los neurotransmisores por las moléculas receptoras de las membranas postsinápticas, afectando la transmisión normal del impulso nervioso.**



### **Tarea**

1. Argumenta por qué las variaciones del PMR constituyen la base fisiológica de la regulación nerviosa.
2. ¿En qué consiste la sinapsis? Explica su importancia en la transmisión del impulso nervioso.
3. Cuando a una persona le cae un objeto extraño en un ojo, de inmediato comienza a parpadear. Explica, auxiliándote de la figura que representa el mecanismo de regulación nerviosa, cómo el sistema nervioso regula esta situación.
4. Investiga los efectos de las bebidas alcohólicas en el funcionamiento del sistema nervioso.

### **Organización estructural y funcional del sistema nervioso**

Después de conocer cómo el sistema nervioso utiliza la información procedente del medio, estudiaremos algunos aspectos esenciales acerca de la organización de este sistema a lo largo del proceso evolutivo.

Durante la evolución de los organismos se fueron desarrollando conjuntos neuronales cada vez más complejos. Una de las formas más primitivas se observa en los celenterados más simples, en los cuales se presentan células receptoras o sensoriales relacionadas funcionalmente con las células efectoras. En los celenterados más evolucionados se encuentra un tercer tipo de célula que relaciona a las células sensoriales con otras células nerviosas que transmiten la información a las efectoras, lo cual constituye la red nerviosa difusa de los celenterados, como por ejemplo en la hidra (fig. 42).

#### **SABÍAS QUE...**

A partir de los platelmintos de vida libre se encuentra un nuevo tipo de neurona, la neurona intercalada o de asociación, que relaciona las neuronas sensoriales con las motoras. Estas neuronas posibilitan un mejor procesamiento de la información y la elaboración de un mayor número de respuestas, lo que permite una mejor adaptación al medio ambiente.

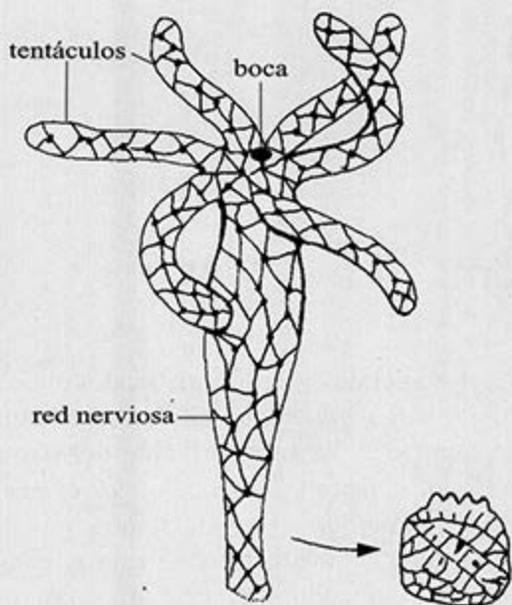


Fig. 42 Sistema nervioso difuso de la hidra.

En los celenterados más complejos, como las medusas, existe la tendencia a la ganglionización, característica también de otros grupos de animales como por ejemplo, los platelmintos de vida libre, los anélidos y los artrópodos, entre otros. La **ganglionización** consiste en la agrupación de neuronas que forman ganglios nerviosos que se relacionan entre sí y tienen función integradora.

#### SABÍAS QUE...

El desarrollo de los ganglios nerviosos está estrechamente relacionado con la locomoción y con el desarrollo de órganos sensoriales especializados, de ahí que los celenterados sésiles o inmóviles no los posean.

El desarrollo del sistema nervioso también se caracteriza por las tendencias a la centralización y a la cefalización.

La **centralización** consiste en la concentración de ganglios hacia el interior del cuerpo, dando lugar al esbozo del sistema nervioso central. La **cefalización** es el predominio de un ganglio en la región cefálica, que coordina el funcionamiento del resto (fig. 43). Estas dos tendencias se manifiestan a partir de los platelmintos.

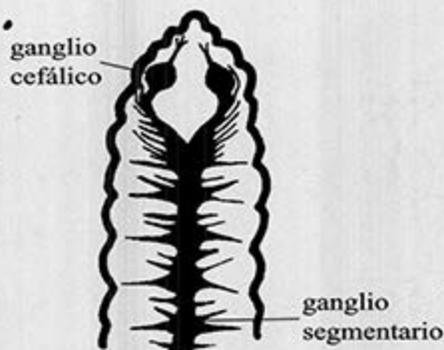


Fig. 43 Sistema nervioso ganglionar de la lombriz de tierra.

Particularmente en los anélidos y en los artrópodos el sistema nervioso se presenta, además de ganglionar, *segmentado*, en correspondencia con la segmentación corporal de estos animales. La **segmentación del sistema nervioso permite cierta integración de la información dentro de cada segmento, entre los segmentos y entre estos y el ganglio cefálico**. Estas relaciones posibilitan que la información proveniente de cualquier segmento pueda llegar al ganglio cerebral y que la respuesta no sea solo local, pudiendo intervenir otras partes del cuerpo o el organismo como un todo. Se considera que en estos grupos aparecen esbozos de supra-segmentos.

En los cordados, incluyendo al organismo humano, se mantiene la organización segmentaria del sistema nervioso, pero, dado el nivel de especialización de sus órganos sensoriales y motores y el mayor nivel de cefalización, también existe una organización *suprasegmentaria*, de ahí que el sistema nervioso pueda ser clasificado, siguiendo un criterio evolutivo, en *segmentario* y *suprasegmentario*.

En los vertebrados, de los cuales tomaremos como ejemplo al organismo humano, el sistema nervioso se clasifica, desde un punto de vista topográfico, para su estudio, en *sistema nervioso central* (SNC) y *sistema nervioso periférico* (SNP).

El **sistema nervioso central está constituido por el encéfalo y la médula espinal, situados dentro de la cavidad craneana y del conducto vertebral respectivamente; el sistema nervioso periférico incluye los nervios y los ganglios situados fuera de esas estructuras óseas** (fig. 44).

El **encéfalo** está constituido por el cerebro, el tálamo, el hipotálamo, el cerebelo y el tronco encefálico, que incluye al mesencéfalo, la protuberancia anular y el bulbo raquídeo (fig. 45).

Los órganos del encéfalo funcionan como centros nerviosos reguladores que procesan la información de forma compleja y elaboran respuestas diversas, las cuales posibilitan el mantenimiento de la vida y la adaptación del organismo al medio ambiente.

El sistema nervioso periférico presenta los nervios espinales, los nervios craneales y los ganglios sensitivos y motores (ver fig. 44).

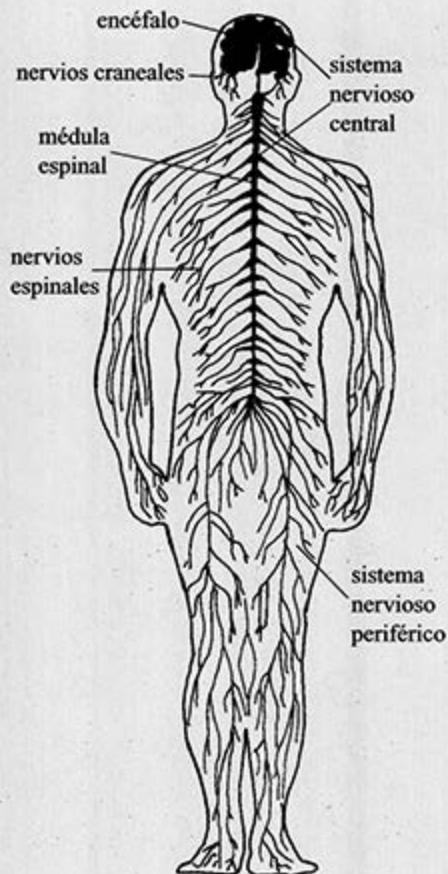


Fig. 44 Sistema nervioso central y sistema nervioso periférico en el organismo humano.

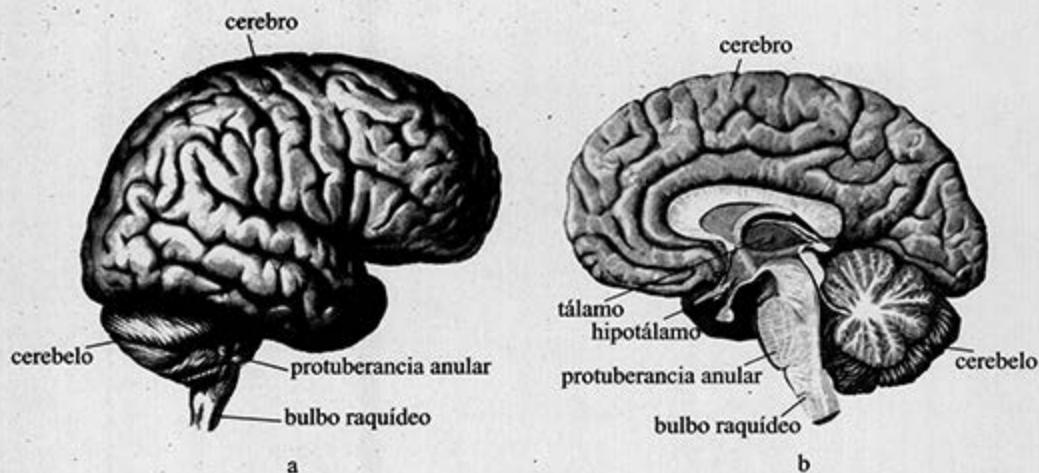


Fig. 45 Encéfalo humano: a) vista lateral; b) corte medio sagital.

### SABÍAS QUE...

Entre los vertebrados, los mamíferos y particularmente el ser humano, poseen el encéfalo con mayor grado de complejidad alcanzado en el desarrollo evolutivo del sistema nervioso (fig. 46).

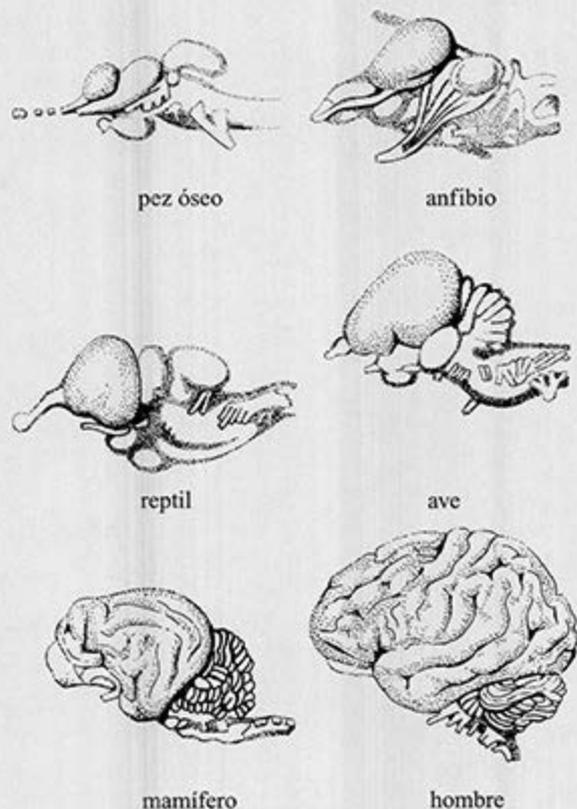


Fig. 46 Evolución del encéfalo en los vertebrados.

### SABÍAS QUE...

Las neuronas sensoriales se agrupan formando ganglios fuera del sistema nervioso central, al igual que algunas neuronas motoras, los cuales representan un remanente del sistema nervioso ganglionar de otros organismos.

Formando parte del sistema nervioso existe un conjunto de estructuras que participan en la regulación de las funciones vegetativas y que reciben el nombre de **sistema neurovegetativo** (fig. 47); *mediante este sistema se regulan funciones vitales*, como por ejemplo, la secreción salival, la masticación, la deglución, la movilidad y las secreciones gastrointestinales, la actividad cardíaca, la presión arterial, la ventilación, la sudación y la micción, entre otras.

El cerebro humano presenta la organización biológica de la materia de mayor complejidad que se conoce, lo que a diferencia de otros animales, hace que este no solo responda a los cambios ambientales sino que también puede transformar el medio ambiente en su beneficio.

El proceso de evolución del cerebro ocurrió en interacción dialéctica con cambios importantes en la conducta del hombre. El hecho de alcanzar la posición erecta, el desarrollo de la locomoción bípeda, la utilización de la mano como órgano de trabajo especializado en el manejo de objetos, en la fabricación de herramientas, etc.; contribuyó a la creciente complejidad del cerebro y esto, a su vez, hizo posible el perfeccionamiento de estas actividades.

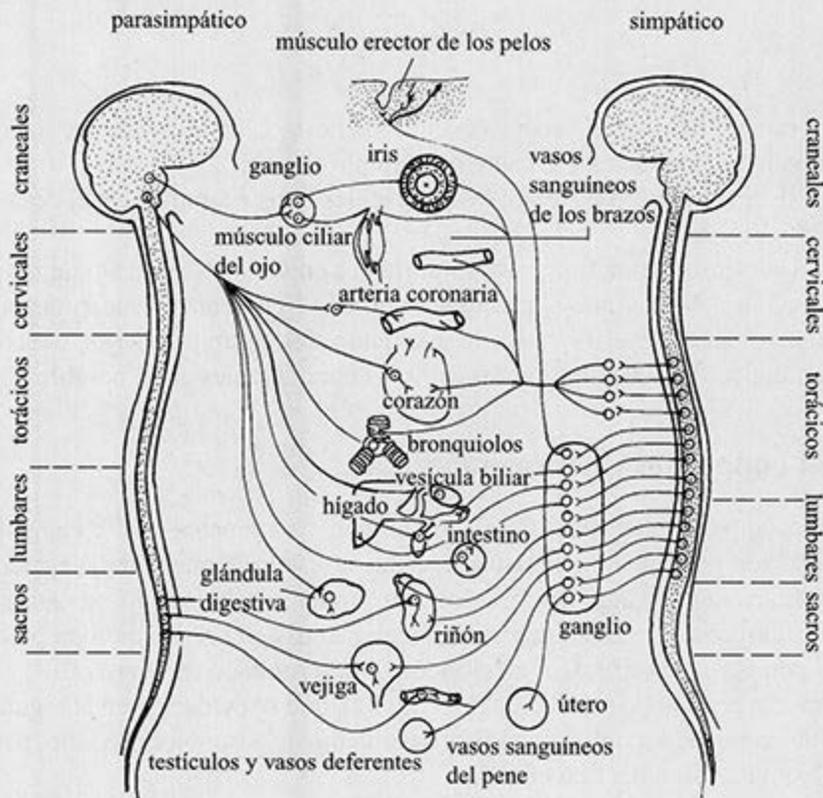


Fig. 47 Sistema neurovegetativo humano.

El organismo humano evolucionó además como ser social, en lo que fue determinante la comunicación, fundamental en la adaptación al medio ambiente. En este proceso de adaptación no solo utiliza la experiencia individual adquirida mediante el aprendizaje, sino que emplea, también toda la experiencia acumulada por la sociedad, en lo cual ha sido importante el lenguaje articulado que determinó el desarrollo de la conciencia, forma superior de la actividad nerviosa característica del organismo humano.

## SABÍAS QUE...

Aunque algunos animales aprenden por imitación o por observación, la transmisión de la información de un individuo a otro, no alcanza el nivel que se desarrolla en el hombre.



### Tarea

1. ¿Qué importancia tiene en el proceso evolutivo el origen de las neuronas intercaladas? Argumenta tu respuesta mediante un ejemplo.
2. Resume, utilizando el libro de texto, los principales hitos evolutivos en el desarrollo del sistema nervioso.
3. "El sistema nervioso regula funciones importantes en el mantenimiento de la vida y en la adaptación del individuo al medio ambiente". Argumenta esta afirmación.
4. ¿Por qué se afirma que el proceso de evolución del cerebro anterior ocurrió en interacción dialéctica con importantes cambios conductuales en el hombre?

## Regulación endocrina y neuroendocrina

Como ya conocemos, la integridad funcional de muchos animales, a diferencia de las plantas, depende en gran medida de sistemas especializados en mantener la estabilidad estructural y funcional del organismo, estos son fundamentalmente los sistemas nervioso y endocrino, que funcionan interrelacionadamente en la regulación de procesos relacionados con el metabolismo, el crecimiento y la reproducción, entre otros.

El mecanismo general de regulación (ver fig. 32), que se evidencia en la regulación nerviosa, también puede ser aplicado al funcionamiento del sistema endocrino, pero no es nuestro objetivo profundizar en ello.

La regulación endocrina se lleva a cabo mediante "mensajeros biológicos" denominados *hormonas*, elaborados por las glándulas que conforman el sistema endocrino y también por otros órganos que secretan hormonas, aunque esta no sea su función principal, de ahí que en la actualidad se amplíe el concepto de sistema endocrino al de sistema hormonal.

Una **hormona** es un compuesto químico de naturaleza orgánica que se origina en un tejido específico a partir del cual es secretado en pequeñas concentraciones hacia los líquidos circulantes que la transportan a un sitio específico de acción donde regula la actividad celular.

Algunos animales, como por ejemplo los celenterados, los platelmintos y los anélidos, presentan solamente células neurosecretoras, o sea, neuronas especializadas en la síntesis y la secreción de neurohormonas. A partir de los moluscos, existen además glándulas endocrinas que sintetizan diversas hormonas.

Una **neurohormona** es un compuesto químico de naturaleza orgánica que se produce en células de origen nervioso (células neurosecretoras), a partir de las cuales se secreta en pequeñas concentraciones y se transporta de diferentes formas hacia su sitio de acción en el cual regula la actividad celular.

La acción de las hormonas y de las neurohormonas produce una respuesta fisiológica típica en otra célula o tejido que constituye su **célula blanco** o **diana** que representa el efector, cuyo funcionamiento se modifica (fig. 48).

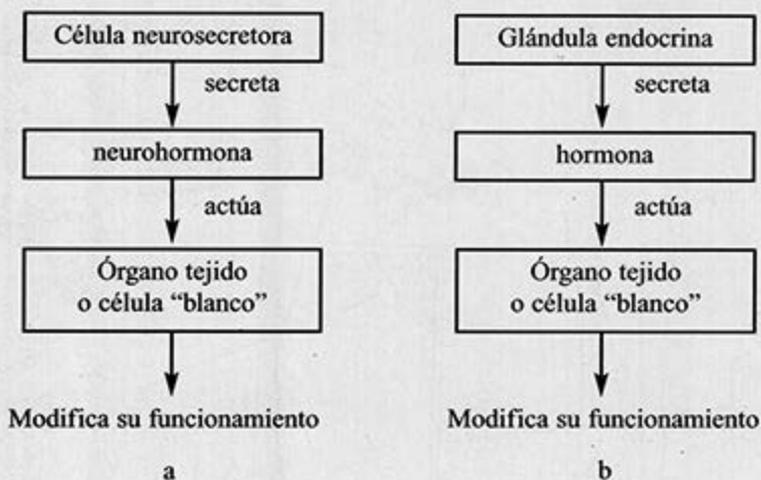


Fig. 48 Esquema general de la regulación: a) endocrina; b) neuroendocrina.

En los vertebrados el sistema endocrino está constituido por un conjunto de glándulas de secreción interna, entre las que se encuentran la *hipófisis o pituitaria*, la *tiroidea*, las *suprarrenales*, el *páncreas endocrino* (islotos de Langerhans), las *paratiroides* y las *gónadas* (ovarios y testículos). En el organismo humano, como en otros vertebrados, también existen otros órganos que secretan hormonas, como por ejemplo, el hígado, el estómago, el intestino delgado, los riñones, etc. (fig. 49).

#### SABÍAS QUE...

**En los invertebrados la regulación endocrina y la neuroendocrina han sido bien estudiadas, especialmente en los insectos y en los crustáceos. Se ha demostrado que las hormonas y las neurohormonas regulan importantes procesos como la muda, la metamorfosis, la reproducción, el cambio de color de la cutícula y funciones metabólicas, entre otros.**

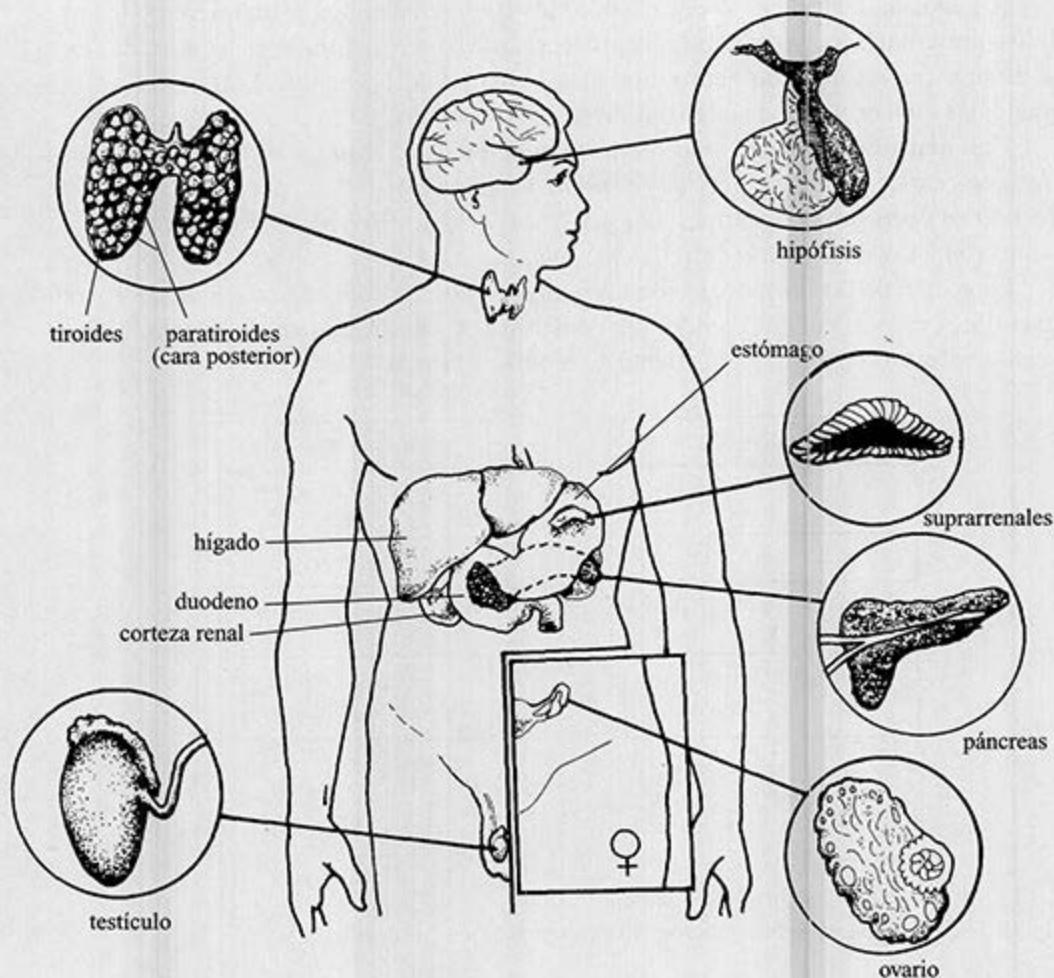


Fig. 49 Representación de algunas glándulas endocrinas en el organismo humano (ampliadas en círculos) y otros órganos secretores de hormonas. En el recuadro se observan las gónadas femeninas u ovarios.

A continuación estudiaremos la constitución y el funcionamiento del sistema endocrino en el organismo humano.

### **Regulación endocrina**

Recordemos que la hipófisis está constituida por tres lóbulos: el anterior o *adenohipófisis*, el *intermedio* y el posterior o *neurohipófisis* (fig. 50).

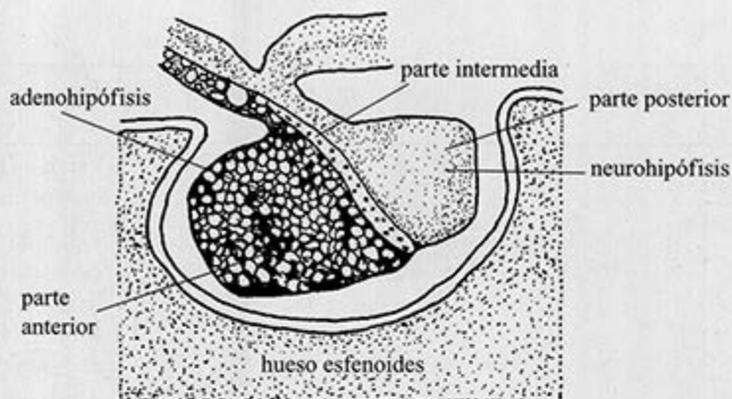


Fig. 50 Corte sagital de la glándula hipofisiaria.

### SABÍAS QUE...

Al cortisol se le llama hormona del estrés, ya que su secreción aumenta ante estímulos de alarma como la proximidad de una intervención quirúrgica, por calor o frío intensos, traumatismos o cualquier enfermedad que cause debilidad intensa.

En el cuadro 3 se resumen las hormonas secretadas por las glándulas endocrinas del organismo humano.

Cuadro 3

#### Hormonas secretadas por las glándulas endocrinas y los efectos fisiológicos sobre cada órgano, glándula o célula blanco o diana

Glándula endocrina	Hormona (s)	Órgano, glándula o célula diana	Efectos fisiológicos
Hipófisis <i>Adenohipófisis</i>	Hormona del crecimiento o somatotrófica (GH)	Tejidos susceptibles de crecer (excepto cerebro, testículos y pulmones)	Estimula el crecimiento y el metabolismo celular
	Hormona estimulante de la tiroides o tirotrófica (TSH)	Glándula tiroides	Estimula el funcionamiento de la glándula tiroides
	Hormona estimulante de la corteza adrenal o adrenocorticotrófica	Corteza suprarrenal	Estimula el funcionamiento de la corteza de las glándulas suprarrenales
	Hormona estimulante del folículo (FSH)	Ovario	Estimula el crecimiento y la maduración de los folículos

Cuadro 3 (continuación)

<i>Glándula endocrina</i>	<i>Hormona (s)</i>	<i>Órgano, glándula o célula diana</i>	<i>Efectos fisiológicos</i>
Neurohipófisis	Hormona luteinizante (LH)	Testículos	Estimula el inicio de la espermatogénesis
		Ovarios	Estimula la maduración final del folículo, la ovulación y la formación del cuerpo lúteo
		Testículos	Estimula la producción y secreción de testosterona
	Prolactina	Mamas	Estimula la secreción de leche
		Testículos	Activa los receptores de la LH
	Hormona antidiarrética	Túbulos renales	Estimula la reabsorción de agua
Vasos sanguíneos		Estimula la vasoconstricción	
Útero		Aumenta las contracciones del útero en el momento del parto	
Tiroides	Tiroxina	Mamas	Estimula la eyección de leche
		Células del organismo	Aumenta la actividad metabólica. Estimula el crecimiento y el desarrollo
Glándulas suprarrenales <i>Corteza suprarrenal</i>	Cortisol	Hígado	Estimula la gluconeogénesis hepática y aumenta la concentración de glucosa sanguínea
	Aldosterona	Túbulos renales	Aumenta la reabsorción de Na <sup>+</sup> , Cl <sup>-</sup> y agua, así como la excreción de K <sup>+</sup>

<i>Médula suprarrenal</i>	Adrenalina y noradrenalina	Vasos sanguíneos Corazón	Causa vasoconstricción Aumenta la actividad cardíaca
Paratiroides	Parathormona	Huesos, túbulos renales	Aumenta la concentración de calcio en los líquidos corporales (aumenta la calcemia)
Páncreas endocrino (islotos de Langerhans)	Insulina	Células musculares y hepáticas	Disminuye la concentración de glucosa sanguínea
	Glucagón	Células hepáticas	Aumenta la concentración de glucosa sanguínea
Ovarios	Estrógenos	Órganos reproductores femeninos y células del organismo	Estimula el desarrollo de los órganos reproductores, de los caracteres sexuales secundarios, el inicio de la preparación del útero para la implantación del blastocisto y la síntesis de proteínas
	Progesterona	Útero	Estimula la preparación final del útero
Testículos	Testosterona	Órganos sexuales masculinos y células del organismo	Estimula el desarrollo de los órganos sexuales masculinos, de los caracteres sexuales secundarios, la síntesis de proteínas, la maduración de los espermatozoides y la reabsorción de sodio, cloruro y agua a nivel de los túbulos renales

## SABÍAS QUE...

Durante el funcionamiento de los mecanismos de regulación endocrina y neuroendocrina es fundamental el estado metabólico funcional de las células, por ejemplo, que existan las enzimas y la energía necesarias, así como las concentraciones adecuadas de  $O_2$  y de los demás nutrientes.

Analicemos un ejemplo de regulación endocrina, mediante el estudio de un parámetro homeostático: la regulación de la glicemia (concentración de glucosa en la sangre). Este constituye un ejemplo clásico de regulación endocrina en el que, en condiciones normales, intervienen dos hormonas: la insulina y el glucagón.

Después de una comida rica en carbohidratos la concentración de glucosa en la sangre se eleva; esto constituye un estímulo para los receptores situados en la membrana citoplasmática de determinadas células del páncreas endocrino (islotos de Langerhans), las cuales secretan la *insulina*, hormona que es transportada por la sangre hasta las células musculares y hepáticas, fundamentalmente. En estas células, la insulina provoca el aumento de la entrada de glucosa con la consecuente disminución de su concentración en la sangre. Una vez que esto ha sucedido, esta respuesta fisiológica constituye un nuevo estímulo que, como retroalimentación, inhibe la secreción de insulina.

Cuando la concentración de glucosa en la sangre disminuye por debajo de los niveles normales, esto constituye un estímulo para otras células del páncreas endocrino, las cuales secretan el *glucagón*, hormona que es conducida hasta las células hepáticas donde estimula la liberación de la glucosa hacia la sangre, por lo que aumenta en esta su concentración. A partir de esta respuesta se desencadena el **mecanismo de retroalimentación** por el cual disminuye la secreción de esta hormona por el páncreas endocrino (fig. 51).

Mediante estos mecanismos el organismo mantiene la concentración de glucosa sanguínea dentro de los valores normales.



### Tarea

1. A partir de las definiciones de neurohormona y de hormona que aparecen en el epígrafe, establece las diferencias entre ambas.
2. Analiza el modelo de regulación endocrina que aparece en la figura 48 y explica la importancia de la retroalimentación en el mantenimiento de la homeostasia.

3. Una persona presenta una disminución de la concentración de calcio en la sangre (calcemia). Basándote en el esquema de la regulación de la glicemia que aparece en la figura 51 y en el cuadro 3, modela y explica el mecanismo de regulación de la hormona que hace posible la recuperación de los valores normales de calcio.

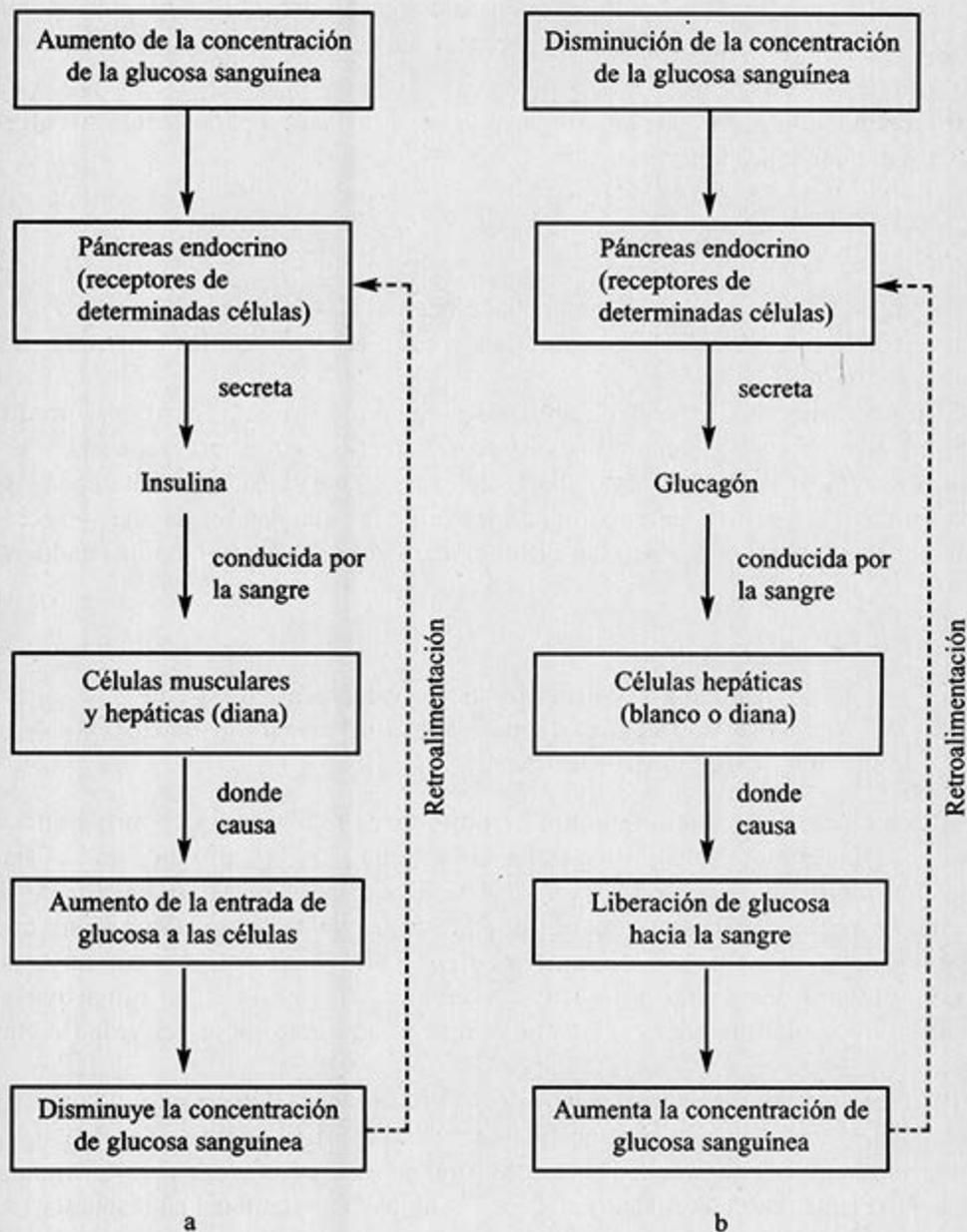


Fig. 51 Mecanismos de regulación de la glicemia: a) por acción de la insulina; b) por acción del glucagón.

4. La hormona GH se ha logrado producir por métodos biotecnológicos. Investiga los posibles usos terapéuticos de esta hormona.
5. ¿Qué importancia tiene la regulación endocrina en el funcionamiento del organismo humano?
6. Conociendo el mecanismo de regulación de la glucosa por la insulina, elabora una hipótesis que te permita explicar la diferencia entre la diabetes insulino dependiente y la no insulino dependiente.
  - a) Propón medidas para evitar el desarrollo de la diabetes o para atenuar sus efectos en individuos enfermos.

## **Regulación neuroendocrina**

Para comprender la regulación neuroendocrina en el organismo humano resulta imprescindible estudiar la glándula hipófisis y sus relaciones con las estructuras del sistema nervioso.

El funcionamiento de la adenohipófisis es regulado por neurohormonas producidas en el hipotálamo, denominadas *factores de liberación*, en respuesta a estímulos nerviosos recibidos de una parte del sistema nervioso central llamada sistema límbico.\* A su vez, la mayoría de las hormonas que son producidas y secretadas por la adenohipófisis regulan el funcionamiento de otras glándulas endocrinas (fig. 52).

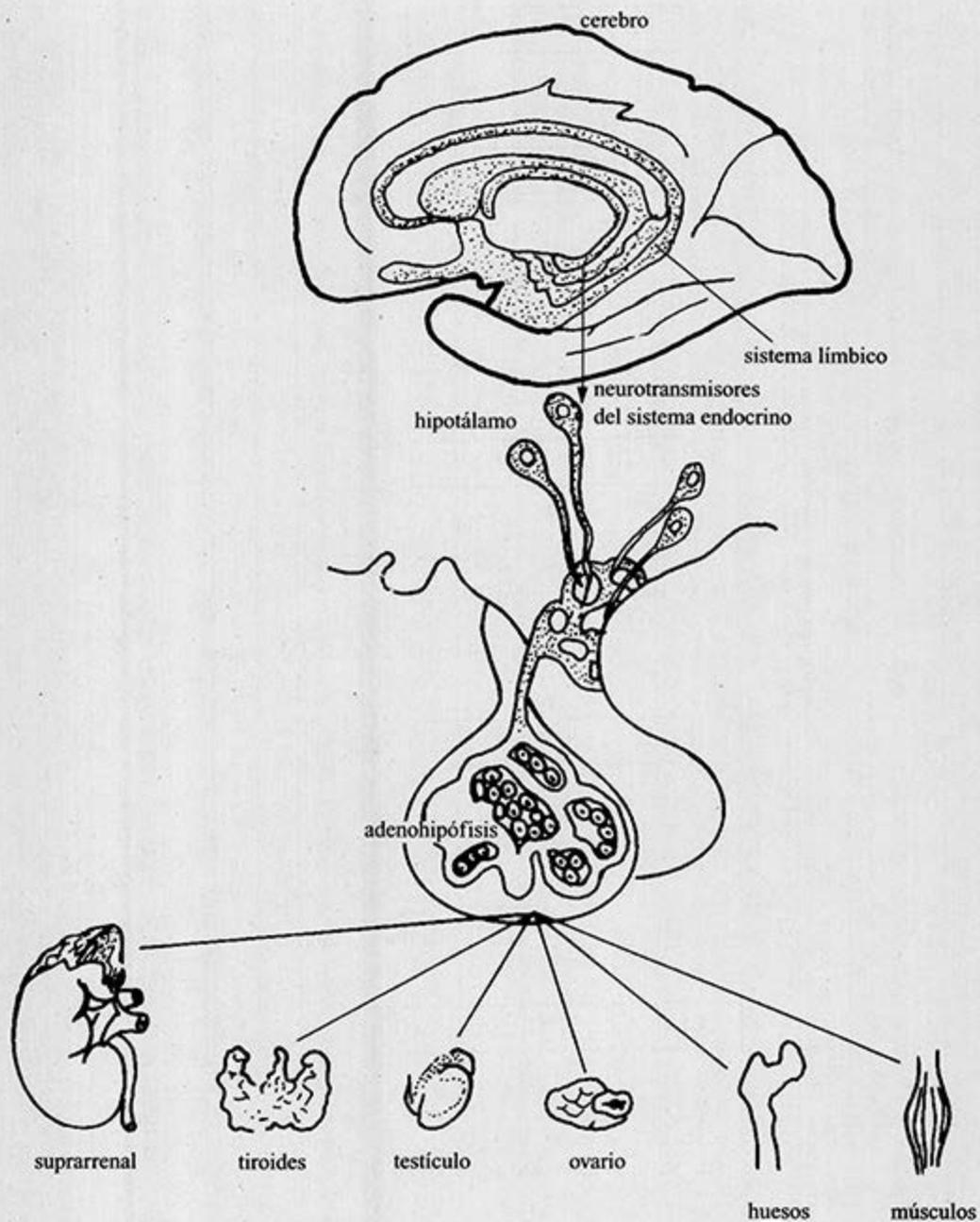
### **SABÍAS QUE...**

**El sistema límbico está constituido por varias estructuras y su porción cortical es la parte más antigua del cerebro desde el punto de vista filogenético.**

Analicemos, mediante un ejemplo, cómo opera la regulación neuroendocrina: la disminución del metabolismo basal\* en una persona, provoca que el sistema límbico estimule al hipotálamo y este produzca el *factor liberador de la hormona TSH*, el cual es conducido por la sangre hasta la adenohipófisis que aumenta la secreción de *hormona tirotrófica (TSH)*. Esta hormona actúa sobre la glándula tiroides donde provoca la secreción de *tiroxina*, hormona que al actuar sobre las células del organismo, causa el aumento de la actividad metabólica.

El aumento de la concentración de tiroxina en la sangre inhibe a la adenohipófisis y al hipotálamo mediante un mecanismo de retroalimentación negativa (fig. 53).

La *neurohipófisis* no produce hormonas, sino que almacena y libera dos neurohormonas producidas en determinados núcleos del hipotálamo, también en respuesta a la estimulación del sistema límbico (fig. 54).



**Fig. 52** Representación esquemática de la relación sistema límbico-hipotálamo-adenohipófisis-glándula u órgano blanco.

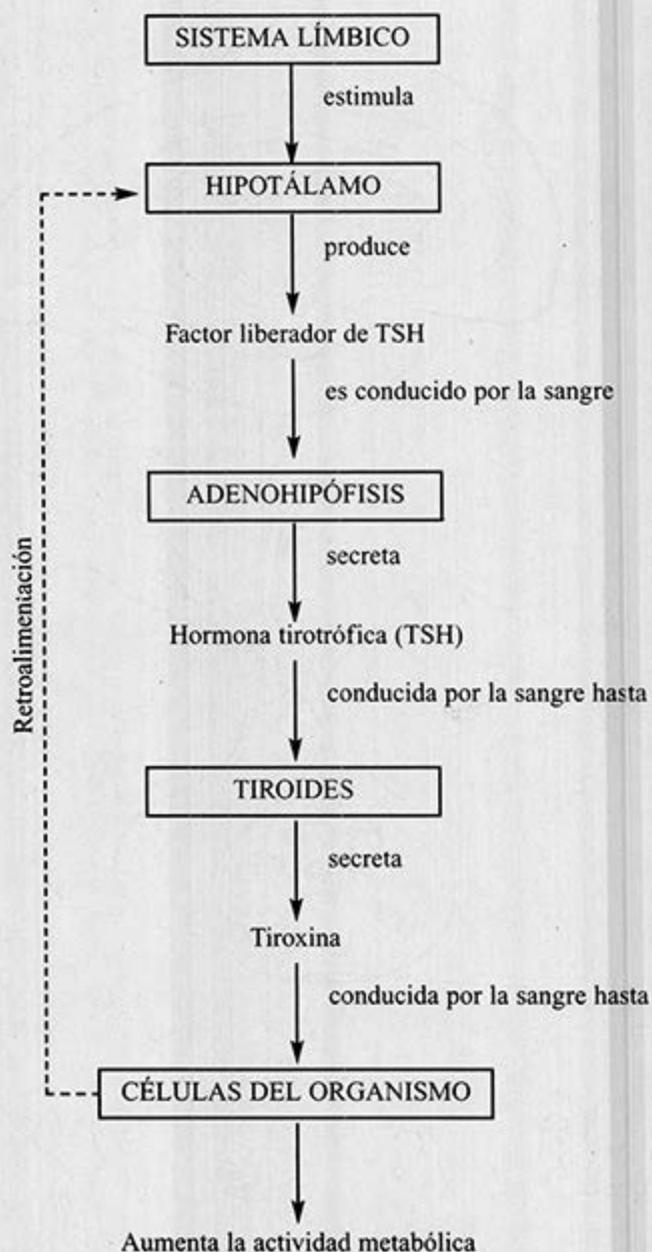


Fig. 53 Representación de un mecanismo de regulación neuroendocrino, donde se observa la relación sistema límbico-hipotálamo-adenohipófisis-tiroides.

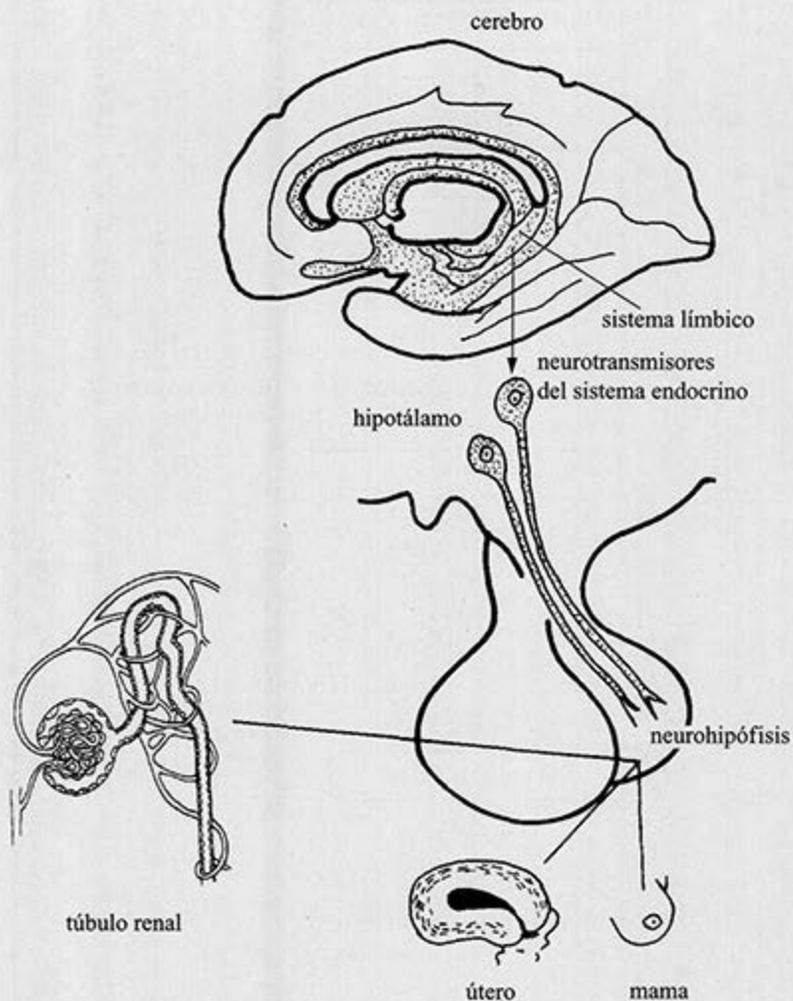


Fig. 54 Representación esquemática de la relación sistema límbico-hipotálamo-neurohipófisis-órgano blanco.

Otro ejemplo de cómo opera la regulación neuroendocrina es el siguiente: cuando por determinada causa disminuye la cantidad de agua corporal, el sistema límbico estimula al hipotálamo y éste produce la ADH o vasopresina, neurohormona conducida por las terminaciones nerviosas hasta la neurohipófisis y liberada por esta hacia la sangre que la conduce hasta los túbulos renales, donde causa el aumento de la reabsorción de agua, razón por la cual se recupera el volumen normal de agua corporal. El aumento de la concentración de ADH en la sangre inhibe al hipotálamo mediante un mecanismo de retroalimentación negativa (fig. 55).

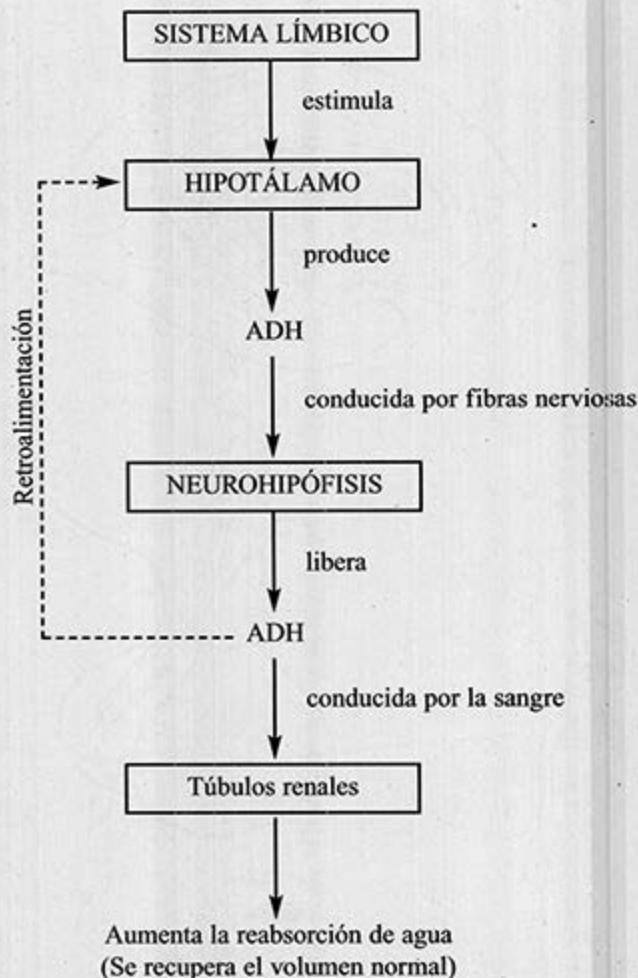


Fig. 55 Representación de un mecanismo de regulación neuroendocrina, donde se observa la relación sistema límbico-hipotálamo-neurohipófisis-túbulos renales.

En la regulación neuroendocrina tiene importancia la relación entre diversas estructuras, por ejemplo, la relación sistema límbico-hipotálamo-hipófisis-glándula u órgano blanco, las cuales producen, secretan y liberan neurotransmisores, neurohormonas y hormonas que regulan importantes funciones, tales como la reproducción, el crecimiento y el metabolismo, entre otras.

En la regulación de las diferentes funciones del organismo humano existe una gran interrelación hormonal que se evidencia en el hecho de que cada función está regulada por diferentes hormonas, por ejemplo, la actividad metabólica está regulada por la tiroxina, el cortisol, la insulina y el glucagón, entre otras hormonas; el crecimiento corporal por la hormona somatotrófica (GH), por la tiroxina, la testosterona, los estró-

genos; la cantidad de agua corporal por las hormonas antidiurética y aldosterona y la reproducción por la hormona estimulante del foliculo, la hormona luteinizante, los estrógenos y la progesterona, entre otras hormonas. En la regulación endocrina y neuroendocrina, también son muy importantes los mecanismos de retroalimentación y el estado metabólico de las células.



### **Tarea**

1. Explica y modela cómo ocurre el mecanismo de regulación neuroendocrina en el caso de una situación en la que actúe el cortisol. Auxíliese del cuadro 3 y de la figura 52.
2. Extrae del epígrafe tres características generales de los mecanismos de regulación endocrina y neuroendocrina y explica la importancia de estos mecanismos.
3. La relación sistema límbico-hipotálamo-hipófisis demuestra la forma en que el organismo utiliza la información del medio ambiente y de su medio interno. Explica la anterior explicación utilizando las figuras 53, 54 y 55 del epígrafe.
4. Investiga las medidas higiénicas que deben practicarse para mantener en óptimas condiciones el funcionamiento del sistema endocrino.
5. Valora la afirmación siguiente: "La regulación nerviosa, endocrina y neuroendocrina contribuyen a la integridad funcional del organismo humano".

## FUNCIONES VEGETATIVAS

En todos los organismos se realiza un intercambio constante de sustancias, energía e información con el medio ambiente en el que se desarrollan. Este intercambio hace posible que en los organismos ocurra un *conjunto de reacciones de síntesis y de degradación a nivel celular* que ya tratamos en décimo grado y que se conoce con el nombre de **metabolismo**.

El metabolismo en los organismos está relacionado con todos los procesos fisiológicos que permiten la vida, como son: la nutrición, el transporte de sustancias, la respiración y la excreción. Como estudiamos en el capítulo 5, las **funciones vegetativas** son el conjunto de funciones que permiten el mantenimiento del metabolismo celular y, por tanto, de la vida de los organismos. De ello se deduce que el metabolismo celular es la base de las funciones vegetativas de los organismos.

En este capítulo estudiaremos cómo se realizan estas funciones vegetativas en los organismos y las relaciones entre estas, se destacará la complejidad gradual alcanzada durante el desarrollo evolutivo, haremos énfasis en la relación estructural y funcional y su expresión en las adaptaciones que posibilitan la vida en diferentes condiciones o ambientes y se ejemplificará cómo se efectúa la regulación de estas funciones en algunos organismos.

### Nutrición

La **nutrición** consiste en la *incorporación de sustancias inorgánicas, orgánicas y de energía al organismo, que son utilizadas como materia prima en la síntesis de sustancias*, que a su vez se emplean en el mantenimiento y la construcción de moléculas y estructuras, y en la obtención de energía utilizable por el organismo.

Todos los organismos toman del medio ambiente nutrientes, estos pueden ser sustancias inorgánicas (agua y sales minerales) u orgánicas (proteínas, lípidos, carbohidratos y vitaminas) según el tipo de nutrición que posean.

La carencia de nutrientes puede causar trastornos de diversa complejidad, en dependencia de los tipos de nutrientes y de la cantidad que de estos falte. Por ejemplo, las plantas necesitan para su desarrollo óptimo, además de agua ( $H_2O$ ) y dióxido de carbono ( $CO_2$ ), determinadas cantidades de minerales que obtienen del suelo en forma

de sales disueltas en el agua. El nitrógeno, el potasio y el fósforo son vitales en el crecimiento, la formación de las raíces, la germinación de las semillas, las reacciones metabólicas y otras funciones; pero también demandan de otros minerales en menor cantidad como el hierro, el zinc y el magnesio.

Los animales y el hombre requieren de los mismos nutrientes: proteínas, carbohidratos, lípidos, minerales, vitaminas y agua. La carencia de nutrientes causa desnutrición, que es hoy uno de los principales problemas de la humanidad. Aunque en el planeta hay capacidad para producir alimentos para todos sus habitantes, cada día el Tercer Mundo aporta nuevas víctimas por esta razón, sin que los ricos se conmuevan ante esta realidad. Como consecuencia del hambre, se reduce el tiempo de vida, las enfermedades proliferan y las capacidades intelectuales se afectan.

#### **SABÍAS QUE...**

**Alrededor de 900 millones de personas en el mundo, en su mayoría mujeres y niños, y en particular, en los países en desarrollo, no disponen de alimentos suficientes para satisfacer sus necesidades nutricionales básicas. De continuar la política económica neoliberal, esta cifra se incrementará.**

#### **SABÍAS QUE...**

**Trofin es un bioproducto de origen natural desarrollado en el Centro Nacional de Biopreparados (BIOCEN), que aporta elementos de proteínas, aminoácidos y minerales necesarios para que el organismo humano cubra los requerimientos indispensables sin agregados químicos y eleve la calidad de vida. Tiene propiedades como: reconstituyente, vigorizante, bioestimulante y antianémico. Se ha probado su eficacia en pacientes geriátricos, atletas, niños y quemados graves.**

Cuba, un país subdesarrollado y bloqueado, ha puesto en práctica una política en la que todos tienen derecho y acceso a la alimentación, para lo cual invierte enormes recursos y se hace un esfuerzo especial en la atención a los requerimientos alimenticios de los grupos más vulnerables, como niños, embarazadas, enfermos y ancianos. El bloqueo económico que los Estados Unidos ejerce sobre Cuba, implica una afectación en la satisfacción plena de la alimentación de nuestro pueblo.

Como parte de la cultura de cualquier sociedad, la nutrición se ve influida por hábitos y costumbres que se transmiten durante generaciones, pero debemos desarrollar correctos modos alimentarios que garanticen la ingestión de una ración alimentaria adecuada para el mantenimiento de la salud y que evite enfermedades. Dentro de la dieta debemos incluir todos los grupos de alimentos, independientemente de las preferencias o gustos.

### SABÍAS QUE...

La carencia de las vitaminas en el organismo puede causar enfermedades. Por ejemplo, la falta de vitamina C ocasiona el escorbuto y la falta de vitamina D provoca el raquitismo. Estas enfermedades eran comunes en Cuba antes del triunfo de la Revolución, principalmente en el campo.



### Tarea

1. Explica por qué el proceso de nutrición es característico de todos los organismos.
2. En un laboratorio se cultivan dos plantas de la misma especie en dos recipientes independientes. Al cabo de varias semanas se observa que existen diferencias entre ambas en relación con el crecimiento, coloración de las hojas, desarrollo de las raíces y el tiempo de floración. Si las condiciones del medio ambiente como la luz, el agua y la temperatura son iguales para las dos plantas, ¿a qué obedecen las diferencias observadas? Explica.
3. Valora el planteamiento siguiente: "La desnutrición no es solo un problema biológico, sino también económico y social".
4. Investiga la importancia de las vitaminas y los minerales para el hombre y cuáles son los alimentos que los contienen.

### Formas de nutrición: autótrofa y heterótrofa

Todos los organismos se nutren, pero ¿obtienen los nutrientes de la misma forma? Si tenemos presente este asunto, podemos distinguir dos tipos o formas básicas de nutrición: la autótrofa y la heterótrofa

Como ya conoces, los **organismos autótrofos sintetizan moléculas orgánicas a partir de sustancias inorgánicas**. Los **organismos quimioautótrofos**, como las bacterias sulfurosas y nitrificantes, *obtienen la energía a partir de compuestos químicos*, y los **organismos fotoautótrofos la obtienen a partir de la energía lumínica**.

### SABÍAS QUE...

Las bacterias nitrificantes del género *Nitrobacter* oxidan sales de nitrito del suelo a sales de nitrato que son más aprovechables por las plantas y su presencia contribuye a la fertilidad de los suelos.

Los organismos **heterótrofos** *obtienen del ambiente la materia orgánica elaborada por los autótrofos*, por lo que dependen de ellos, aunque también toman del ambiente agua y minerales. Si por efecto de la contaminación ambiental o por el uso descontrolado de los recursos naturales se afecta la vida de los organismos autótrofos, entonces se compromete la vida de los heterótrofos.

Los organismos heterótrofos presentan dos formas de nutrición: la saprótrofa y la holótrofa. La **nutrición saprótrofa** (o absorbitiva) es característica de algunas bacterias y de los hongos que *se alimentan de las sustancias que absorben al degradar sustancias orgánicas producidas por otros organismos*.

#### SABÍAS QUE...

Los hongos secretan al exterior las enzimas que degradan a las macromoléculas en otras más sencillas que son absorbidas.

#### SABÍAS QUE...

Las plantas llamadas “carnívoras”, capturan insectos pequeños a partir de los cuales obtienen el nitrógeno que escasea en las turberas y humedales en que viven. Poseen estructuras cuyo color u olor atraen a los insectos, estos quedan atrapados y son digeridos. Sus hojas verdes sintetizan carbohidratos. Ejemplos de estas plantas son las droseras y la venus atrapamoscas.

La **nutrición holótrofa** es característica de la mayoría de los protistas (paramecio, ameba), los animales y el hombre. Estos organismos *se nutren a partir de compuestos orgánicos* (proteínas, carbohidratos, lípidos y vitaminas) *que no pueden incorporar directamente a sus células* y deben ser transformados previamente a formas más simples, a través de procesos que estudiaremos a continuación.



#### Tarea

1. Establece las diferencias entre la nutrición autótrofa y la heterótrofa en cuanto a:
  - a) organismos que la realizan.
  - b) fuente de materia prima para la síntesis de compuestos orgánicos.
2. Fundamenta el planteamiento siguiente: “Los procesos nutricionales que aseguran la vida en la Tierra se basan en la energía solar y la clorofila de los organismos fotoautótrofos”.

## Nutrición autótrofa. Mecanismos de obtención de nutrientes

Como ya conocemos, los organismos autótrofos sintetizan moléculas orgánicas a partir de compuestos inorgánicos. Los organismos quimioautótrofos, como las bacterias sulfurosas y nitrificantes, obtienen la energía de los compuestos químicos y los fotoautótrofos, de la energía lumínica procedente del sol.

Al estudiar la nutrición, y pensar cómo lo hacen las plantas, generalmente se identifica con el proceso de fotosíntesis que estudiamos en décimo grado. Pero, ¿puede sobrevivir una planta si solo incorpora dióxido de carbono, agua y energía luminosa?, ¿cuáles son las sustancias que entran disueltas en el agua absorbidas por las raíces?, ¿qué función realizan los minerales obtenidos del suelo en la vida de la planta?, ¿qué parte de la planta es la encargada de la obtención de los nutrientes?

Las plantas están constituidas por tres elementos químicos fundamentales: carbono, hidrógeno y oxígeno, que conforman las diferentes moléculas presentes en sus células. El carbono procede del dióxido de carbono contenido en la atmósfera, el hidrógeno se obtiene del agua absorbida y el oxígeno, del  $H_2O$ , el  $CO_2$  y el  $O_2(g)$  atmosférico.

Las plantas obtienen las sustancias minerales disueltas en el agua del suelo, que es la fuente natural de estos nutrientes. Los elementos incorporados a la planta, al llegar a las diferentes células, participan en el metabolismo celular y constituyen materias primas en el proceso de síntesis de moléculas que son utilizadas en el mantenimiento y construcción de estructuras y participan como activadores enzimáticos.

Las raíces presentan ramificaciones y pelos radicales que tienen paredes finas, lo que posibilita la absorción del agua y las sales minerales. El agua entra por difusión, siempre por transporte pasivo, y las sales minerales pueden entrar por transporte activo y pasivo.

En el proceso de nutrición de las plantas están involucrados todos sus órganos. El agua y las sales minerales penetran al cuerpo de la planta por las raíces, que también incorporan  $O_2$ . El  $CO_2$  y el  $O_2$  atmosférico que entran por los estomas presentes en hojas y tallos jóvenes.

### SABÍAS QUE...

**La técnica de aspersión foliar resulta de gran importancia para la agricultura, pues es una forma rápida de garantizar la incorporación de sustancias a la planta y lograr resultados en corto período de tiempo.**

Algunas plantas presentan heterotrofismo, como es el caso de la *Dionaea* sp. una planta carnívora que utiliza los insectos en su nutrición, ya que el suelo en que se desarrolla es carente de nitrógeno.

### SABÍAS QUE...

**El orobanche es una planta parásita que infecta la de tabaco. Constituye una excepción, ya que es una planta no fotosintetizadora y adquiere las sustancias nutritivas del hospedero.**

En las plantas, al igual que en los animales, se observan los efectos de la desnutrición. Cuando las plantas se cultivan en condiciones inadecuadas, con deficiencias de agua, iluminación, CO<sub>2</sub> y sustancias minerales, se afecta severamente el crecimiento y el desarrollo, y son evidentes los síntomas de la carencia de los diferentes elementos según las manifestaciones que pueden presentar en la forma, el color, la consistencia de las hojas, el tallo con entrenudos más cortos o largos y el crecimiento pobre de las raíces, entre otros aspectos.

Por ejemplo, cuando falta el magnesio, no se sintetiza la clorofila y se presenta en las hojas un color blanquecino, por lo cual se dice que las hojas están cloróticas, además esas plantas crecen delgadas. Cuando el agua no es suficiente, se retarda el crecimiento y puede aparecer una coloración azulada en las hojas.

Cuando existen deficiencias de las diferentes sustancias minerales se presentan síntomas específicos que pueden indicar al hombre cuál es el nutriente que escasea y propiciar su incorporación al suelo, sobre todo en los cultivos de interés agrícola.

### **Nutrición heterótrofa. Holotrofismo**

Las sustancias que los organismos heterótrofos holótrofos obtienen del medio ambiente deben ser transformadas antes de ser incorporadas a cada una de las células, donde participan en el metabolismo celular. En la mayoría de los organismos heterótrofos pluricelulares se han desarrollado estructuras especializadas como consecuencia de la pluricelularidad y de la diferenciación celular. Esto facilita la realización de las funciones nutritivas que permiten la degradación de los nutrientes a formas más simples y su transporte hasta las células mediante los procesos de la nutrición holótrofa que son: *ingestión, digestión, absorción y asimilación.*

La **ingestión** es el proceso mediante el cual los organismos toman el alimento. Posteriormente, *este es sometido a distintos procesos de transformaciones mecánicas y químicas mediante la digestión.* Las sustancias resultantes de la degradación durante el proceso de digestión, *pasan a través de estructuras hacia el medio interno.* Este movimiento se efectúa directamente a través de membranas o mediante mecanismos especializados de transporte y se conoce como **absorción.** *Estas sustancias absorbidas pasan a formar parte de las células y pueden ser utilizadas en el metabolismo por el proceso de asimilación.*

*Cuando la digestión se realiza en el interior de una célula, esta recibe el nombre de digestión intracelular. Cuando se realiza fuera de las células, en el interior de una cavidad, entonces la digestión es extracelular.*

¿Cómo ocurre la digestión intracelular en organismos como los protistas?

En estos organismos es característica una gran variedad de mecanismos de ingestión de partículas orgánicas, como cilios, flagelos, seudópodos, entre otros. Por ejemplo, en el caso de la ameba, *el citoplasma se proyecta alrededor de la partícula alimenticia formando seudópodos que la engloban, en un proceso llamado fagocitosis, lo*

que da como resultado una vacuola ingestiva. Esta vacuola se fusiona con un lisosoma y se forma una vacuola digestiva, en el interior de la cual se realiza la digestión de las partículas alimenticias por acción de las enzimas.

En estos organismos las sustancias digeridas pasan a través de la membrana de la vacuola digestiva y se incorporan al citoplasma, por lo que los mecanismos de absorción y asimilación coinciden. Los restos que no son asimilables por la célula constituyen desechos y quedan en el interior de la vacuola, posteriormente son eliminados al exterior cuando esta se pone en contacto con la membrana citoplasmática y a través de ella salen al exterior en un proceso inverso a la fagocitosis (fig. 56).



Fig. 56 Representación esquemática de la digestión intracelular en una ameba.

*La digestión extracelular es más especializada que la intracelular.* En la extracelular los nutrientes son sometidos a diversas transformaciones en cada región de las estructuras digestivas. En este proceso, los nutrientes fluyen en una sola dirección, ello posibilita que durante este tránsito sean sometidos a acciones de las enzimas y que las sustancias obtenidas puedan ser absorbidas.

En los organismos pluricelulares de menor nivel de complejidad, como la hidra, se produce una combinación de los procesos de digestión intracelular y extracelular. Captura los alimentos con los tentáculos, se los lleva a la boca (el único orificio) y así realiza la ingestión. La boca se comunica con una cavidad digestiva a donde llegan los alimentos ingeridos y allí se digieren parcialmente por la acción de enzimas digestivas que son secretadas por las células que tapizan dicha cavidad. De esta forma, ocurre la digestión extracelular.

El alimento que no fue completamente digerido en la cavidad es ingerido por los pseudópodos de las células que la tapizan de forma semejante a como ocurre en la ameba y se forma una vacuola digestiva en el interior de la cual se realiza la digestión intracelular. Cuando concluye la digestión, las sustancias son absorbidas hacia el cito-

plasma de cada célula o pueden pasar a otras células vecinas por los mecanismos de transporte. En este caso también coinciden los procesos de absorción y asimilación. Los productos de desecho de la digestión salen al exterior a través de la boca, su único orificio.

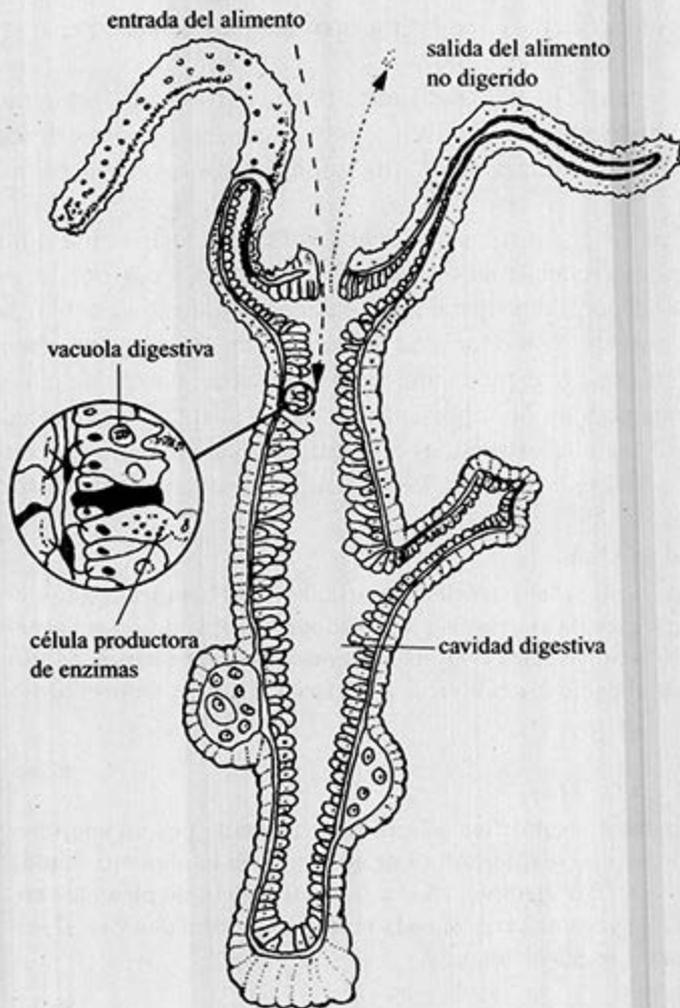


Fig. 57 Esquema de la digestión extracelular e intracelular en la hidra.

Los platelmintos de vida libre presentan sistema digestivo con un orificio de entrada de alimentos, la boca, y el intestino donde ocurre la digestión. Las sustancias no asimilables salen al exterior por la boca, por lo cual se plantea que este tipo de sistema digestivo es incompleto (fig.58a).

Otros grupos de organismos como los nematodos, los anélidos y los artrópodos, que también presentan esta característica evolutiva, realizan la digestión extracelular como patrón básico de digestión. En ellos, las enzimas se producen en células y glándulas digestivas especializadas y se secretan en la cavidad de un tubo digestivo completo, que presenta boca y ano, en la que se realiza la digestión completa de los alimentos. La absorción ocurre cuando las sustancias resultantes de la digestión se incorporan a los líquidos circulantes que las transportan a las células donde son asimiladas (fig. 58b, c y d).

Los hábitos alimentarios de los distintos organismos varían, están muy relacionados con el medio ambiente en que viven y presentan adaptaciones estructurales y funcionales que posibilitan la ingestión, la digestión, la absorción y la asimilación de los nutrientes.

Por ejemplo, en los organismos que tienen vida parásita en el intestino de otros, no presentan grandes diferenciaciones en el tubo digestivo, pero por lo general tienen adaptaciones que les permiten fijarse a las paredes del intestino del hospedero (como en el caso de la *Taenia solium* o lombriz solitaria) y en otros casos presentan una capa de fibras musculares que realizan contracciones y evitan su expulsión al exterior.

Los organismos de vida libre presentan variadas adaptaciones en cada uno de los procesos digestivos y en las estructuras que realizan estas funciones. Casi todos tienen boca a través de la cual se incorporan los alimentos y mediante ella ocurre la ingestión.

#### **SABÍAS QUE...**

**La mayoría de los parásitos intestinales en el hombre se adquieren a través de alimentos mal lavados o mal cocidos, por llevarse las manos sucias a la boca o por compartir objetos de uso personal como los cubiertos y los vasos. La medida preventiva es la higiene.**

#### **SABÍAS QUE...**

**El aparato bucal de los insectos está formado por un conjunto de piezas que se diferencian de acuerdo con la alimentación de la especie. Por ejemplo, en el mosquito es del tipo picador-chupador y succiona sangre; en la mariposa es lamedor y en el saltamontes es masticador.**

Los insectos, pertenecientes a los artrópodos, tienen una adaptación al medio ambiente terrestre muy curiosa. Estos organismos no beben agua, solo la obtienen en los alimentos y mantienen cantidades adecuadas porque ocurre una elevada absorción de esta en el intestino y los desechos son secos.

En la mayoría de los cordados existe un sistema digestivo de complejidad notable (fig.59). Los peces, por ejemplo, pueden tener una alimentación muy variada; pueden ser herbívoros, carnívoros y omnívoros y, en correspondencia, sus dientes están diferenciados.

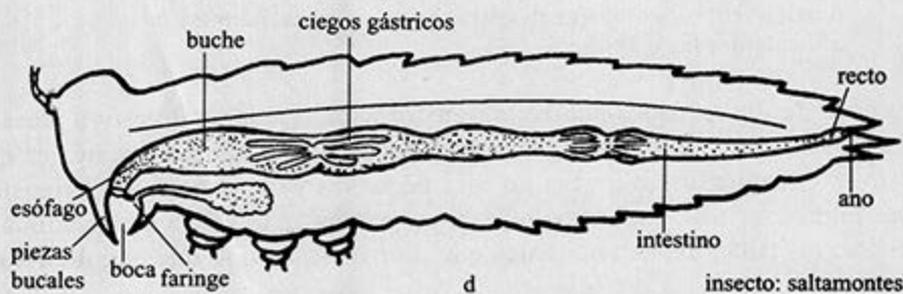
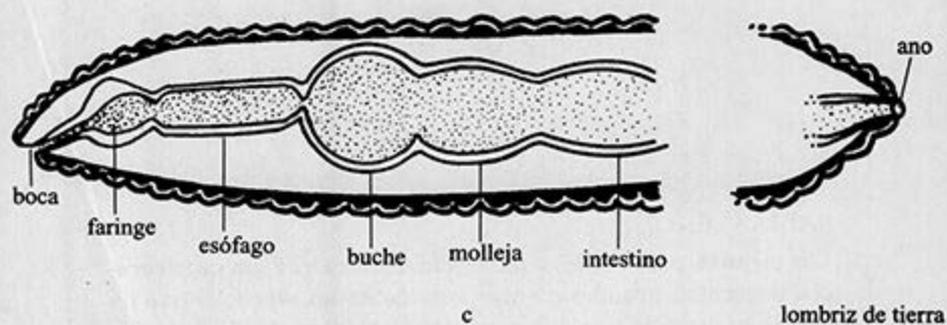
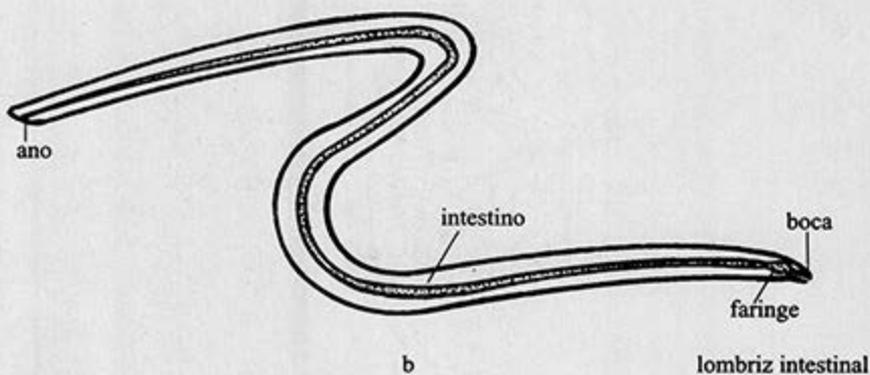
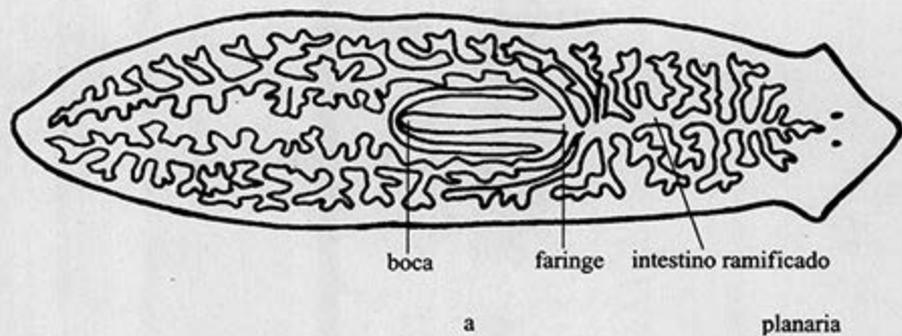


Fig. 58 Esquemas de los sistemas digestivos de diferentes invertebrados: a) platelmintos; b) nematodos; c) anélidos; d) artrópodos.

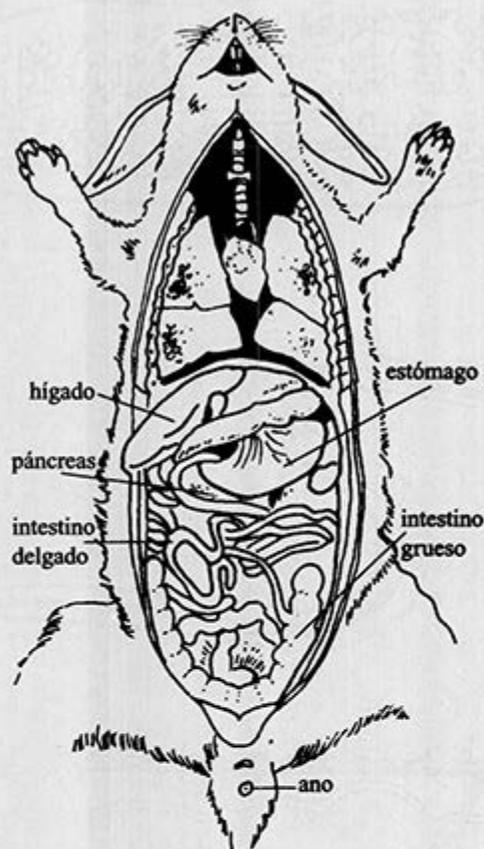


Fig. 59 Esquema del sistema digestivo de un cordado.

### SABÍAS QUE...

**Las pirañas, peces de los ríos de Sudamérica que son muy voraces, presentan grandes dientes a modo de un serrucho que les permiten devorar a presas de considerable tamaño. Los reptiles pueden tener dientes que desgarran a sus presas, pero las boas o serpientes las engullen enteras.**

En la boca de los cordados ocurre la transformación física o digestión mecánica y la transformación química o digestión química de los alimentos, ya que en esta región estos son triturados en partículas más pequeñas y comienzan a ser transformados por la presencia de enzimas que están presentes en la saliva de los animales terrestres. No obstante, existen animales que no mastican, sino que engullen a sus presas.

Los dientes de los mamíferos presentan desigual tamaño y forma, en dependencia del tipo de alimentación. Por ejemplo, los carnívoros tienen caninos sobresa-

lientes y molares afilados, los herbívoros tienen grandes molares más aplanados, y en el hombre, son más homogéneos. La salud de los dientes garantiza una correcta masticación de los alimentos, y por tanto, una digestión más eficaz, por lo que las medidas de higiene, la atención estomatológica sistemática y no abusar de los dulces y caramelos son las medidas más efectivas para tener una dentadura sana y duradera.

### **SABÍAS QUE...**

**Las ballenas, los mamíferos más grandes que existen, no tienen dientes, sino unas placas córneas que filtran el agua y retienen el plancton y los pequeños invertebrados de los que se alimentan.**

Los alimentos que son ingeridos y transformados en la boca pasan al estómago mediante un conducto llamado esófago. El estómago es una de las estructuras más importantes del sistema digestivo de los cordados, pues ahí se produce una parte importante de la digestión química de los alimentos, y generalmente está formado por una sola cámara, por lo que recibe el nombre de *estómago monogástrico*. En este órgano continúa la digestión química de los alimentos y la mezcla resultante pasa al intestino delgado donde esta continúa.

En muchos animales existen glándulas anexas como el hígado y el páncreas que contribuyen con la secreción de sustancias a la digestión intestinal. En las reacciones químicas de degradación de los compuestos orgánicos es imprescindible la acción de enzimas que se producen en glándulas o tejidos de origen epitelial y son específicas en cada reacción.

Una vez finalizado este proceso, quedan, como resultado de las transformaciones, sustancias más simples tales como aminoácidos, ácidos grasos, glicerina, glucosa y vitaminas, que pasan a través de las paredes del intestino delgado a los vasos sanguíneos, ocurriendo de este modo la absorción mediante los procesos de transporte pasivo y activo. Las paredes del intestino presentan numerosos pliegues denominados vellosidades intestinales que permiten el aumento de la superficie de contacto de las sustancias con el epitelio intestinal (fig. 60).

### **SABÍAS QUE...**

**En el hombre, las vellosidades intestinales incrementan la superficie de absorción de 4-5 m<sup>2</sup> de superficie, mientras que la de la piel es de solo 1,5 m<sup>2</sup>.**

La sangre y la linfa transportan los nutrientes a los tejidos, mediante la circulación y en cada célula ocurre la asimilación de los nutrientes que constituyen las materias primas del metabolismo cuando atraviesan las membranas citoplasmáticas por medio de los mecanismos de transporte ya mencionados.

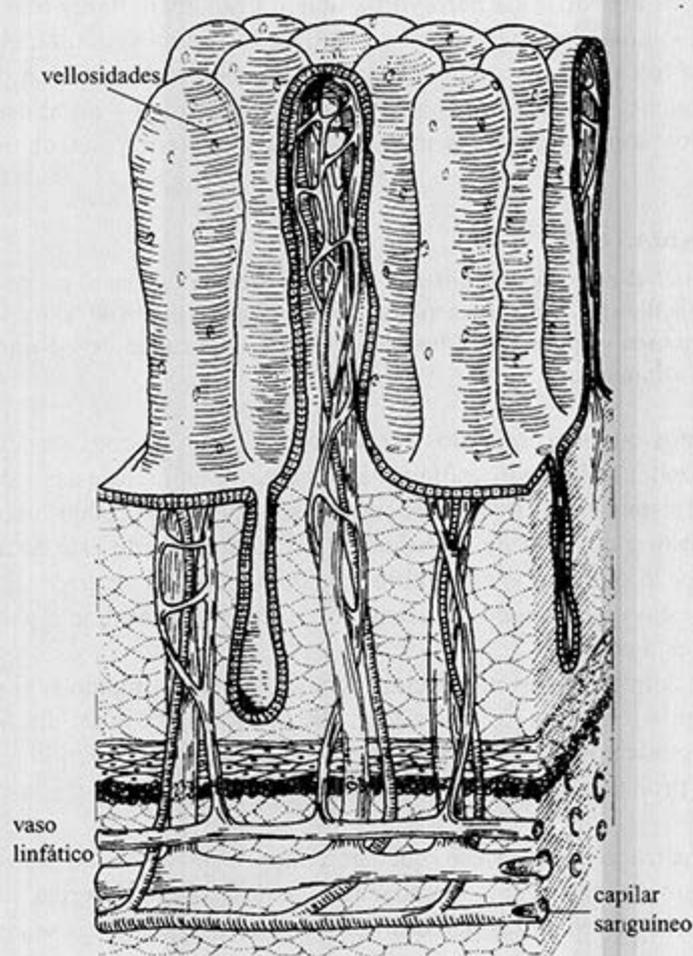
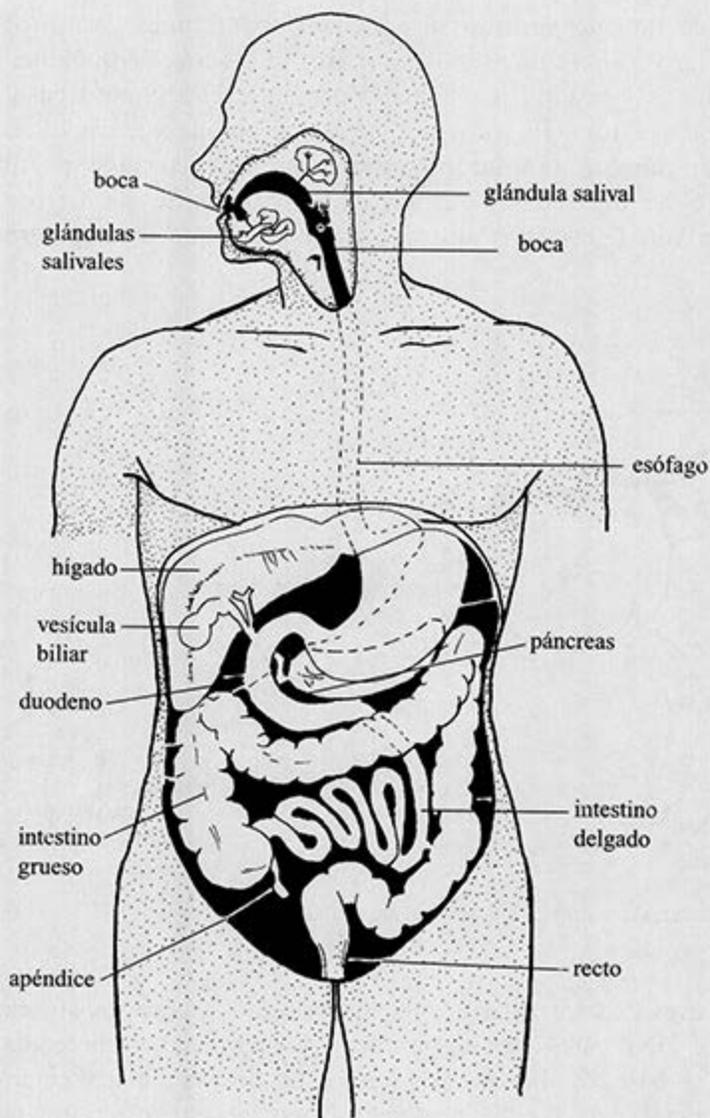


Fig. 60 Estructura de las vellosidades intestinales.

Los restos no absorbidos continúan su desplazamiento hacia el intestino grueso, donde ocurre una elevada absorción de agua, lo que permite la adaptación de los organismos terrestres al medio, unido a la ingestión de agua. En este órgano habita una flora microbiana que sintetiza algunas vitaminas que los animales monogástricos aprovechan. Además se inicia la descomposición de los materiales no absorbidos y contribuyen a la formación de las heces fecales que salen al exterior a través del ano (fig. 61).

Los mamíferos rumiantes (reses, cabras, carneros, ovejas, jirafas, ciervos) presentan adaptaciones en su sistema digestivo que les permiten aprovechar los nutrientes de la hierba que es ingerida en gran cantidad y con mucha rapidez, tales



**Fig. 61** Estructuras del sistema digestivo de un mamífero monogástrico.

como los músculos masticadores muy desarrollados, grandes molares y el estómago dividido en cuatro cavidades, de ahí que se denomine *estómago poligástrico* (fig. 62 ).

La hierba que estos mamíferos ingieren se almacena temporalmente en el rumen. Después de un tiempo, se devuelve a la boca donde es remasticada y

reensalivada, lo que permite su adecuada trituración. Este proceso se conoce como rumia, y generalmente los animales lo efectúan con calma y en condiciones de sombra y tranquilidad. Posteriormente, el alimento pasa a las restantes cavidades del estómago (retículo, omaso y abomaso). En todas las cavidades hay un gran número de microorganismos como bacterias y protistas que degradan la celulosa de la pared celular de las células de las hierbas y permiten la transformación de las otras moléculas orgánicas que se encuentran en el interior de ellas.

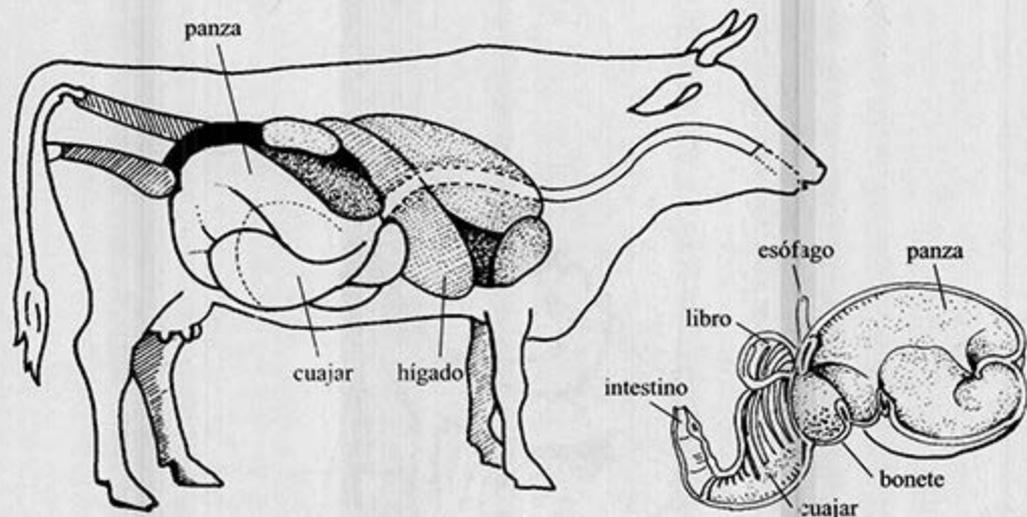
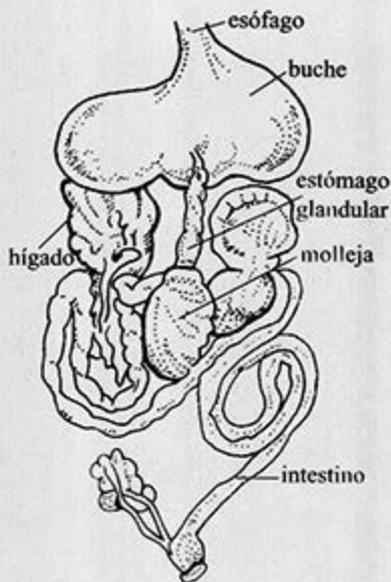


Fig. 62 Estructuras del sistema digestivo de un rumiante.

En las aves existen varias adaptaciones, como la boca transformada en forma de pico córneo, sin dientes, que les permiten obtener diversos alimentos en medios muy variados (fig. 63). Los alimentos no son masticados, se ingieren enteros o en fragmentos que se almacenan en el buche donde se humedecen. Posteriormente, pasan al estómago que está dividido en dos cavidades: proventrículo y molleja. En la primera se inicia la digestión y en la segunda se trituran los alimentos, debido a la acción de las paredes musculosas de este órgano. En el intestino delgado ocurre la digestión química y la absorción de las sustancias asimilables, por lo que se considera que es muy eficiente, aunque este no sea de gran longitud.

Podemos concluir, de modo general, que en los organismos heterótrofos holótrofos ocurre la degradación de los compuestos orgánicos que ingieren, en estructuras especializadas. Las sustancias asimilables son transportadas a los tejidos y a las células en las cuales ocurre el metabolismo celular.



**Fig. 63** Esquema de la estructura del sistema digestivo de las aves.



### Tarea

1. Compara la digestión intracelular y la extracelular.
2. Explica la importancia del proceso de digestión en los organismos heterótrofos.
3. "Una adecuada masticación y la correcta higiene bucal facilitan la digestión y conservan nuestra salud". Fundamenta esta afirmación.
4. Realiza un cuadro en el que ejemplifiques las adaptaciones en el proceso digestivo y las estructuras digestivas de los organismos heterótrofos que pertenecen a los grupos:
 

a) Protistas.	d) Artrópodos.
b) Celenterados.	e) Aves.
c) Anélidos.	f) Mamíferos.
5. Elabora un esquema lógico con los elementos siguientes:
 

• nutrición autótrofa	• fotoautótrofos	• nutrientes
• nutrición	• digestión extracelular	
• digestión intracelular	• procesos digestivos	
• nutrición heterótrofa holótrofa	• quimioautótrofos	

6. Redacta un párrafo en el que relaciones los conceptos nombrados en la tarea anterior.

### **Regulación de la digestión**

En los diferentes organismos, como ya estudiamos, las funciones vegetativas están reguladas por mecanismos nerviosos y endocrinos. Esta regulación contribuye a mantener la integridad del organismo y la estrecha relación de este con el medio en que se desarrolla.

Veamos algunos ejemplos de cómo se manifiesta esta regulación en el proceso de digestión en los mamíferos, en particular en el hombre. Por ejemplo, la digestión mecánica y la química que ocurren en la boca, son controladas mediante la regulación nerviosa. Tanto la secreción de la saliva como la acción de los músculos masticadores tienen su centro modulador en el tronco encefálico (fig. 64).

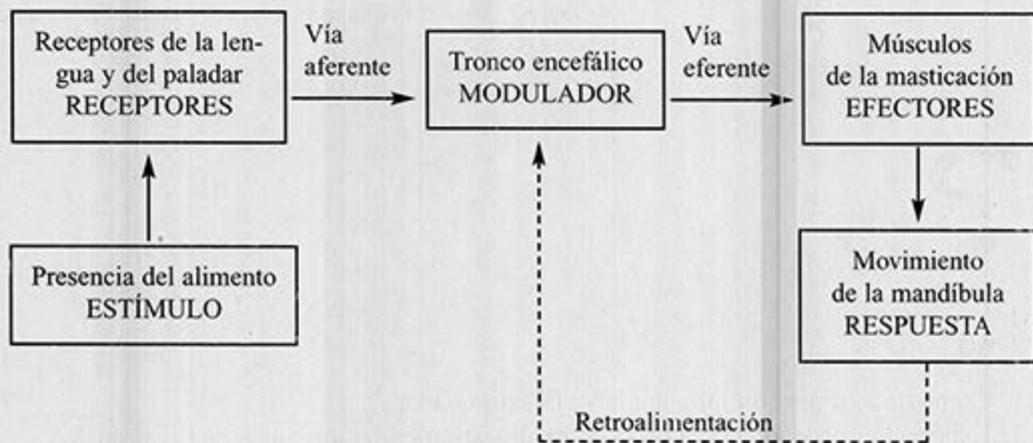


Fig. 64 Mecanismo de regulación de la masticación.

La secreción salival ocurre como respuesta refleja a la presencia del alimento, cuando recordamos un alimento o nos percatamos de su presencia a través del olfato o la visión. Por lo tanto, en estos casos también interviene como centro nervioso la corteza cerebral.

La regulación endocrina se manifiesta a través de la secreción de la hormona secretina producida en la mucosa del estómago y del duodeno, primera porción del intestino delgado, que a su vez estimula la secreción de pepsinógeno y de ácido clorhídrico en el estómago, por parte de sus células secretoras.

También la acidez y la presencia de ácidos grasos en el duodeno constituyen un estímulo para la secreción de hormonas estimulantes que actúan sobre el páncreas y estimulan la secreción de jugo pancreático.

### SABÍAS QUE...

El hambre es la necesidad fisiológica de alimento; apetito es el deseo específico de este y la saciedad es la sensación contraria al hambre. Todos estos estados fisiológicos constituyen estímulos que influyen en la regulación de la ingestión de alimentos, y los centros nerviosos que generan las respuestas a ellos se encuentran en el hipotálamo.



#### Tarea

1. Analiza el esquema de la figura 64 y responde la situación siguiente: Si experimentalmente a un grupo de ratas se les lesiona la vía eferente, ¿qué efectos esperarías en los animales?
2. ¿Qué importancia tienen los mecanismos de regulación en los procesos de la digestión?

### Transporte de sustancias en los organismos

En el epígrafe anterior estudiamos cómo los organismos toman los nutrientes pero, ¿cómo llegan esas sustancias a cada una de las células en un organismo pluricelular con cierto grado de complejidad?

El **transporte** es el movimiento de sustancias por todas las partes del organismo, de acuerdo con sus requerimientos metabólicos. Mediante este proceso no solo se transportan sustancias nutritivas, sino también, sustancias de desecho, gases, hormonas, entre otras.

De acuerdo con el grado de complejidad de los organismos, este proceso ocurre de modo diferente y se presentan adaptaciones estructurales y funcionales en estrecha relación con otros procesos y estructuras.

En los organismos unicelulares como los protistas y las mórneras, las sustancias se distribuyen en el interior de las células por difusión y por movimientos citoplasmáticos de ciclosis que provocan la traslación de las vacuolas digestivas y otros orgánulos en el interior de las células (fig. 65). Los nutrientes atraviesan la membrana de la vacuola hacia el citoplasma mediante transportes pasivo y activo.

Al plantearnos el estudio de la circulación, inmediatamente pensamos en la circulación de la sangre impulsada por el corazón hacia todas las partes del cuerpo. ¿Cómo el agua y los minerales absorbidos del suelo y las sustancias elaboradas en la fotosín-

tesis en el área foliar, llegan a todas las partes de una planta? ¿Cómo el agua del suelo llega hasta las hojas de una palma real, un eucalipto o una secuoya gigante de aproximadamente 100 m de altura?

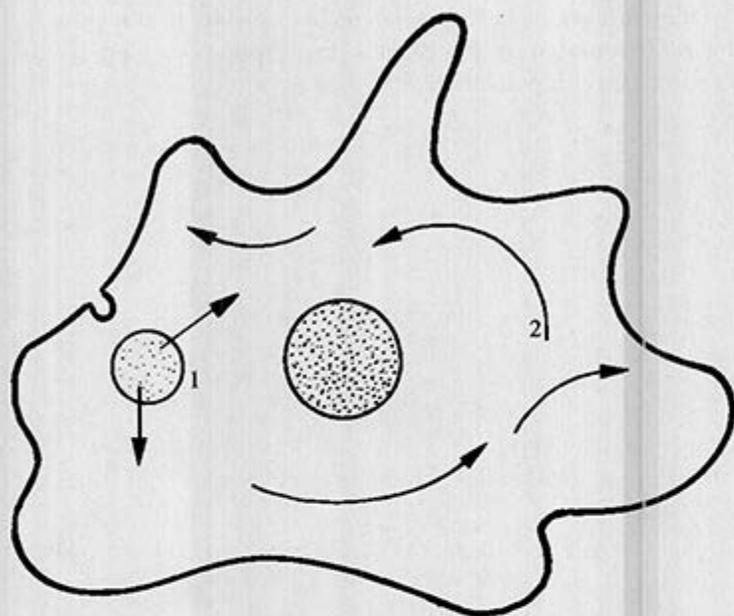


Fig. 65 Esquema del proceso de transporte en una ameba: 1. mecanismo de transporte pasivo y/o activo desde la vacuola hacia el citoplasma; 2. movimiento de ciclosis del citoplasma.

En todas las células de las plantas, además del transporte por difusión y del movimiento interno del citoplasma denominado ciclosis, existen los *plasmodesmos*, que son estructuras celulares que permiten el paso de célula a célula al poner en contacto sus citoplasmas.

En las plantas de menor nivel de complejidad, el paso de sustancias se lleva a cabo de célula a célula, y en las de mayor complejidad, existen estructuras especializadas que realizan esa función.

Para poder comprender mejor cómo se lleva a cabo este proceso en las plantas es necesario conocer la estructura que posibilita esta función, cuáles son los líquidos que circulan y los mecanismos que garantizan el transporte.

Como conocemos, en las plantas vasculares existe un sistema de tejidos que forman los vasos conductores: el xilema y el floema.

Recordemos que el xilema está formado por las tráqueas y las traqueidas, que son los elementos conductores que se presentan como células alargadas de paredes impregnadas de lignina, una sustancia de naturaleza dura que proporciona la consistencia leñosa de tallos y raíces, permitiendo además actuar como soporte. La disposición de la lignina no es uniforme y se pueden encontrar diversas formas: espiralada, reticulada, circular, punteada (fig. 66).

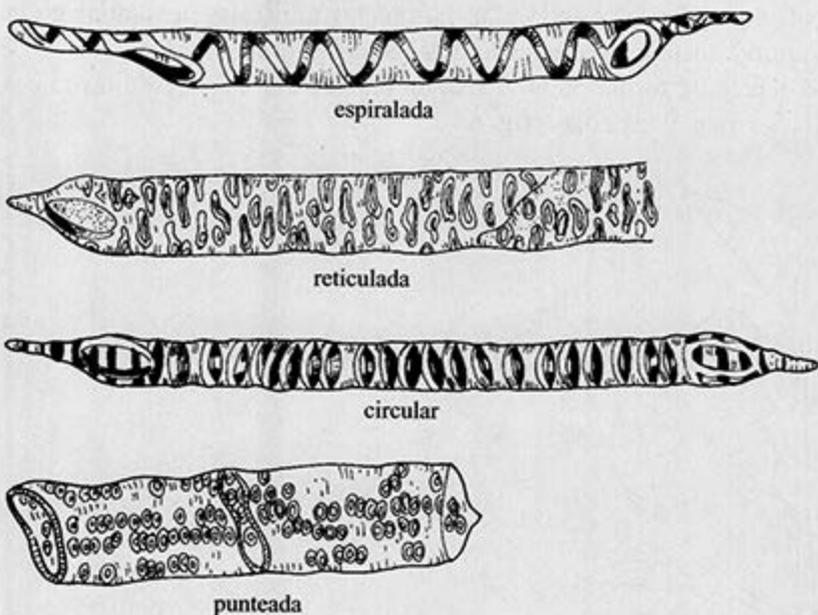


Fig. 66 Esquema que representa las diferentes formas en que se dispone la lignina en los vasos xilemáticos.

Las células que forman los vasos tienen otras modificaciones, si presentan en los tabiques transversales perforaciones, son las traqueidas, mientras que en las tráqueas esos tabiques aparecen atrofiados parcial o completamente. Al estar estas células situadas una seguida de la otra, dan lugar a un sistema de tubos continuos que se disponen en series paralelas (fig. 67).

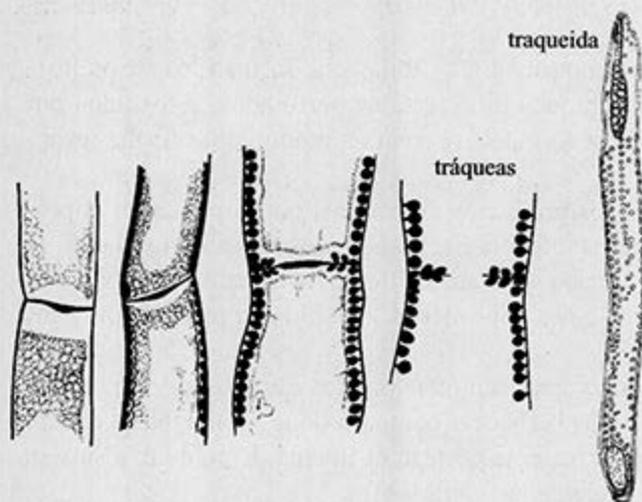


Fig. 67 Representación de la formación de una tráquea y del esquema de una traqueida.

Por el xilema asciende el agua y las sustancias minerales necesarias en la planta, así como algunas sustancias orgánicas nitrogenadas producidas por las raíces. Este movimiento ocurre de forma polar, o sea, en un solo sentido, desde las raíces, por el tallo, hasta las ramas y las hojas (fig. 68).



Fig. 68 Representación del sentido polar del movimiento por el xilema.

El floema es un tejido altamente especializado en la función de la conducción; es también un tejido complejo pues está formado por diferentes tipos de células que tienen gran cantidad de plasmodesmos.

Las células cribosas, que así se denominan las células que forman los vasos floemáticos, son alargadas y presentan tabiques transversales perforados, reforzados por una sustancia denominada calosa, cuya forma se presenta a modo de una criba (espumadera) (fig. 69).

Por las células cribosas circulan los productos elaborados por la planta en el proceso de fotosíntesis y este transporte se efectúa hacia todos los sitios de la planta, es decir en todas las direcciones, por lo que es apolar, a diferencia del transporte xilemático. El transporte por el floema se lleva a cabo desde los sitios de producción a los sitios de consumo (fig. 70).

El tejido xilemático y el floemático aparecen relacionados estructural y funcionalmente. Se pueden apreciar en las plantas herbáceas como cordones donde hacia el centro de la planta se dispone el xilema y hacia la corteza el floema. El xilema, a su vez, forma los anillos de crecimiento en las plantas leñosas (fig. 71).

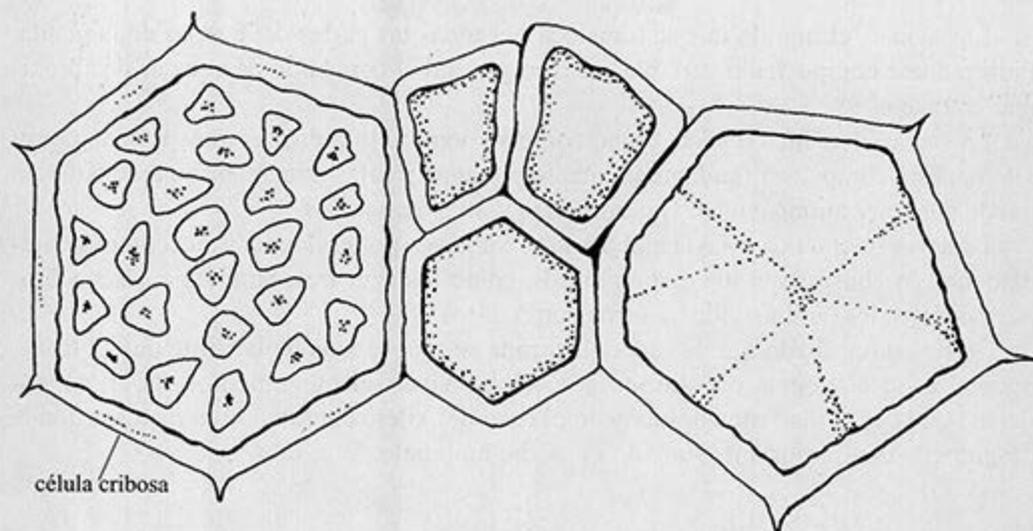


Fig. 69 Representación de células cribrosas.



Fig. 70 Representación del sentido apolar del movimiento por el floema.

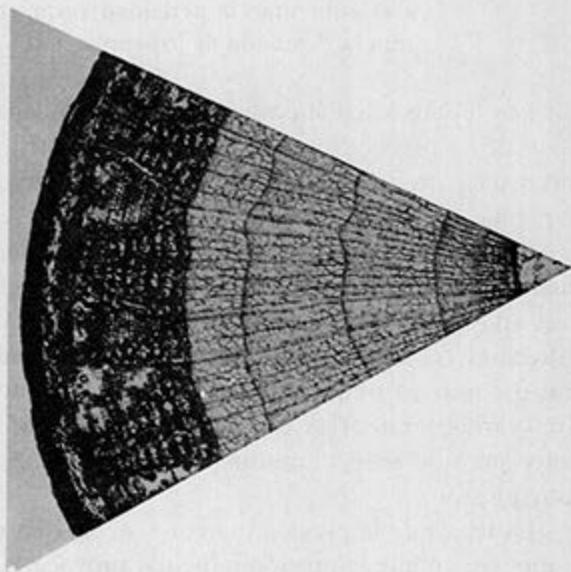


Fig. 71 Representación de un corte transversal de una planta leñosa en la que se pueden observar los anillos del xilema.

### SABÍAS QUE...

La edad de los árboles se puede calcular por la cantidad de anillos que presentan al hacer un corte transversal del tallo. Esto ha permitido calcular la edad de algunas secuoyas de más de 3 000 años.

La savia es el líquido que se transloca por todas las partes del cuerpo de la planta. Presenta una composición variable, pero en general el contenido de agua es de aproximadamente el 98 %.

La savia xilemática o savia bruta, como su nombre lo indica es transportada por el xilema, está compuesta fundamentalmente por agua y sales minerales, aunque también puede contener aminoácidos, fitohormonas y otras sustancias.

La savia floemática o savia elaborada se transloca por el floema y su contenido fundamental lo constituyen los carbohidratos, como los azúcares; también contiene fitohormonas, sales, aminoácidos y otros compuestos.

Se ha comprobado que la savia elaborada se mueve más lentamente que la bruta, pues al estar el floema constituido por células vivas, el movimiento está en dependencia de la actividad metabólica y en el caso del xilema actúan otros factores donde desempeña una importante función el medio ambiente.

### **SABÍAS QUE...**

**Al disminuir la temperatura, el transporte de sustancias por el floema se hace menor, mientras que si se aumenta, se intensifica al aumentar la actividad respiratoria de las células y por tanto la demanda de azúcares.**

Los tejidos xilemáticos y floemáticos tienen continuidad desde las raíces hasta las hojas de las plantas, lo que hace posible el movimiento de los líquidos circulantes hasta todas sus partes, lo que sin lugar a dudas permite el funcionamiento como un todo de la planta.

Es posible ahora, dar respuesta a algunas de las interrogantes iniciales en cuanto a cómo es posible alcanzar las grandes alturas en el transporte de sustancias en las plantas. El transporte por el xilema se efectúa en contra de la fuerza de gravedad, recorriendo el agua distancias tan pequeñas como en una planta de vicaria, o como ya planteamos, tan grandes como en una palma real o un eucalipto. Son varias las teorías que tratan de explicar el ascenso del agua por el xilema, entre las que se encuentran la de la presión radicular y la teoría coheso-tenso-transpiratoria.

La teoría de la presión radicular se basa en que la raíz funciona como un sistema osmótico, en que la presión radicular provoca la fuerza impulsora que hace posible el ascenso del agua. Este razonamiento es válido para explicar el ascenso del agua en plantas pequeñas, pues se ha comprobado experimentalmente que una columna líquida solo se puede levantar 10 m de altura a la presión de una atmósfera. Pero, ¿y entonces las plantas de 20, 30 y hasta casi 100 m de altura? ¿Cómo se establece la fuerza impulsora?

La teoría coheso-tenso-transpiratoria, a diferencia de la teoría antes mencionada, que plantea que la fuerza impulsora se origina en las raíces, ubica la fuerza impulsora en el área foliar, donde se lleva a cabo la transpiración.

La explicación del proceso se puede resumir de la forma siguiente: como consecuencia de la transpiración que se lleva a cabo en las hojas, por las diferencias de temperaturas se pierde agua de los tejidos de estas; esa agua perdida es reemplazada por la contenida en los vasos xilemáticos, los que a su vez quedan deficientes de agua y sucesivamente se va sustituyendo por el agua contigua contenida en los vasos hasta las raíces. Como podemos apreciar, la transpiración provoca una succión desde arriba. Imaginemos lo que ocurre cuando tomamos agua o refresco con un absorbente.

El agua asciende en forma de columna líquida continua, ya que existe cohesión entre sus moléculas y, además, porque la estructura de los vasos xilemáticos de naturaleza capilar, y con reforzamientos de lignina, posibilita al agua adherirse a las paredes, y que al mismo tiempo no se colapse el vaso xilemático. Como vemos, se ponen de manifiesto los aspectos esenciales que dan nombre a la teoría, la cohesión, la tensión y la transpiración. Por supuesto no podemos dejar de mencionar que en todas las plantas se produce la absorción de agua y sales y que esa entrada de agua propicia una presión radicular de empuje hacia arriba.

De la explicación anterior podemos deducir la importancia de la disponibilidad de agua para la vida de las plantas, ya que si la pérdida de esta por transpiración supera las posibilidades de incorporación de agua por las raíces, la planta se marchita y, de continuar estas condiciones, puede llegar a morir. Este análisis permite fundamentar los grandes esfuerzos que realiza el país en la construcción de presas para que, en los períodos de sequía, se puedan suplir las necesidades de agua en los cultivos que garantizan la alimentación del hombre y los animales.

Anteriormente, planteamos que por el floema circulan las sustancias elaboradas hacia todas las partes de la planta ¿Cómo ocurre este proceso?

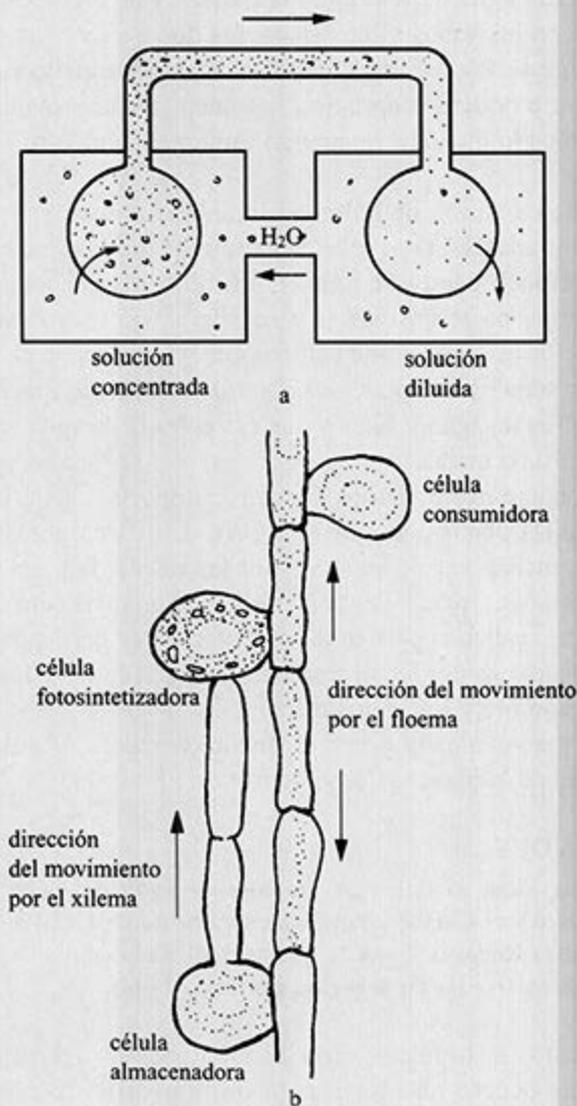
### **SABÍAS QUE...**

**La presa Zaza es el mayor embalse de agua de Cuba, Centroamérica y el Caribe y tiene una capacidad de 1 020 millones de metros cúbicos de agua, lo que garantiza el regadío de extensas áreas cultivadas en la región central del país.**

Hasta el momento, la hipótesis más aceptada es la del flujo masivo. Según plantea, en las hojas ocurre un incremento de la presión osmótica, producto del aumento del contenido de agua que se produce, como consecuencia de que en el proceso fotosintético se elaboran azúcares. De esta forma, los azúcares se mueven desde las células productoras, donde hay mayor concentración hacia las células que las consumen, y las almacenan en moléculas no osmóticamente activas como el almidón.

Las zonas de gran utilización de sustancias elaboradas son las que se hallan en crecimiento donde son consumidas constantemente, lo que hace que se mantenga un gradiente de concentración y se desplacen siguiendo un flujo masivo de agua y solu-

tos, desde las regiones de síntesis a los lugares de utilización (fig. 72). Como podemos apreciar, el transporte es en varias direcciones.



**Fig. 72** Modelo de osmómetro que ilustra la teoría del flujo de presión (a). Modelo que muestra el flujo desde las regiones de síntesis hasta la de consumo y almacenamiento (b).

El conocimiento del funcionamiento de las plantas resulta de extraordinaria importancia para la obtención de mejores cosechas de frutos. En los cultivos se deben garantizar las diferentes condiciones que permiten el normal funcionamiento de las plantas.

Como hemos podido apreciar al analizar las diferentes funciones de nutrición y transporte, las estructuras de las plantas actúan coordinadamente y una misma estructura puede participar en varias funciones, así, por ejemplo, los estomas participan en el intercambio de gases y en la transpiración. Por otro lado, existe una estrecha relación entre los diferentes procesos, como la que se establece entre la transpiración y la absorción, en los que se relacionan las raíces, los tallos y las hojas. Es importante también destacar que cada estructura permite, dadas sus características, las diferentes funciones y que, en definitiva, el organismo funcione como un todo íntegro.

En los hongos y en los animales pluricelulares de menor complejidad estructural, como los poríferos y los celenterados, no hay estructuras especializadas en el transporte de sustancias y estas se distribuyen de célula a célula a través de los mecanismos ya conocidos (fig. 73).

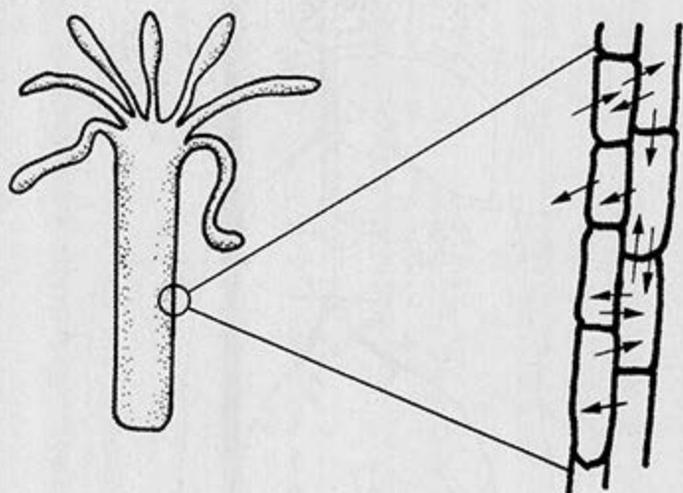


Fig. 73 Esquema en el que se representan los mecanismos de transporte de sustancias en organismos pluricelulares sencillos (hidra verde).

En los animales más complejos en estructura y función, existen vías especializadas en el transporte de sustancias y varían de acuerdo con sus particularidades y las condiciones del medio ambiente en que viven. En ellos circulan líquidos que difieren en sus características y en su composición, así como en los mecanismos que determinan su movimiento.

Por lo general, en estos animales se encuentran sistemas circulatorios que presentan una íntima relación estructural y funcional con los demás sistemas. Los sistemas circulatorios están generalmente formados por una bomba impulsora: el corazón y los vasos sanguíneos (fig. 74).

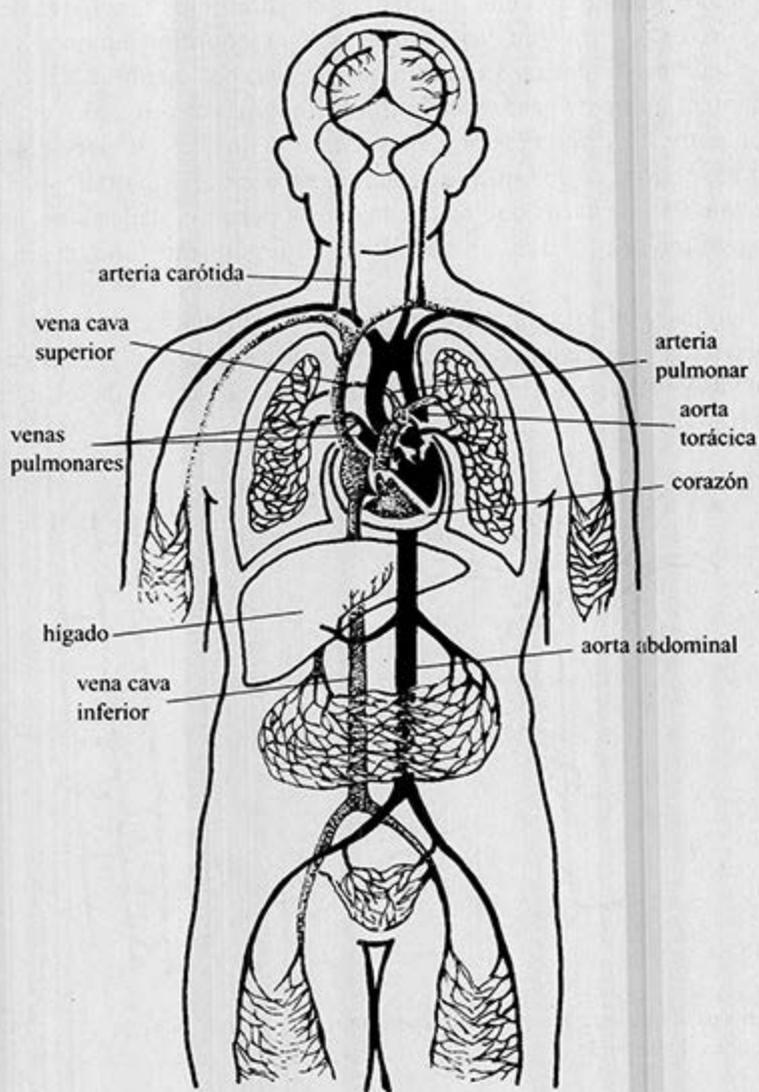


Fig. 74 Esquema de la estructura general del sistema circulatorio.

En los anélidos se presenta un sistema de vasos por los cuales circula sangre que es impulsada por las contracciones de un vaso situado en la región dorsal del cuerpo (fig. 75a). Como el líquido siempre está dentro de un circuito de vasos se considera que este sistema circulatorio es cerrado. En los artrópodos el líquido circulante se conoce como hemolinfa, que es impulsada por un corazón o vaso dorsal y se vierte en la cavidad del cuerpo, de modo que baña a todos los órganos y posteriormente retorna al corazón. Como el líquido se vierte en senos o lagunas hemocélicas se denomina a este sistema circulatorio abierto (fig. 75b). Este tipo

de sistema circulatorio determina que la presión del líquido sea baja y la velocidad de su movimiento lenta. Sin embargo, estos animales son de vida activa, entonces, ¿cómo ocurre el suministro del dióxígeno necesario en la generación de la energía que estos organismos requieren? Cuando estudiemos las adaptaciones en el proceso de la respiración podremos comprender mejor esta aparente contradicción.

### SABÍAS QUE...

Los moluscos, que son animales de poca actividad en comparación con los insectos, también tienen sistema circulatorio abierto. Las excepciones de este grupo son los pulpos y los calamares, que son muy activos y presentan el sistema circulatorio cerrado. Ellos se desplazan a grandes velocidades en el medio acuático y sus requerimientos metabólicos son mayores.



Fig. 75 Esquema de sistemas circulatorios: a) cerrado (lombriz de tierra); b) abierto (artrópodo).

En el sistema circulatorio cerrado el líquido circula a presiones altas y a mayor velocidad, lo que implica un mayor suministro de sustancias nutritivas y dióxígeno a las células. Los cordados, desde peces hasta mamíferos, tienen este tipo de sistema circulatorio.

El líquido circulante en los organismos es impulsado mediante una estructura que tiene la característica de contraerse rítmicamente y a la que se le denomina *corazón*. Su origen evolutivo es a partir de un vaso dorsal de mayor grosor que el resto de los vasos. En los cordados el corazón presenta diversas adaptaciones que están muy relacionadas con el proceso de transporte de gases respiratorios (fig. 76).

Uno de los cambios más importantes es la división del corazón en cavidades, así como el engrosamiento de sus paredes musculares, lo que permite impulsar grandes volúmenes de líquido a gran distancia y con alta presión.

¿Qué factores producen el movimiento de la sangre en los organismos con sistema circulatorio cerrado? Para ello vamos a estudiar el ejemplo de un mamífero.

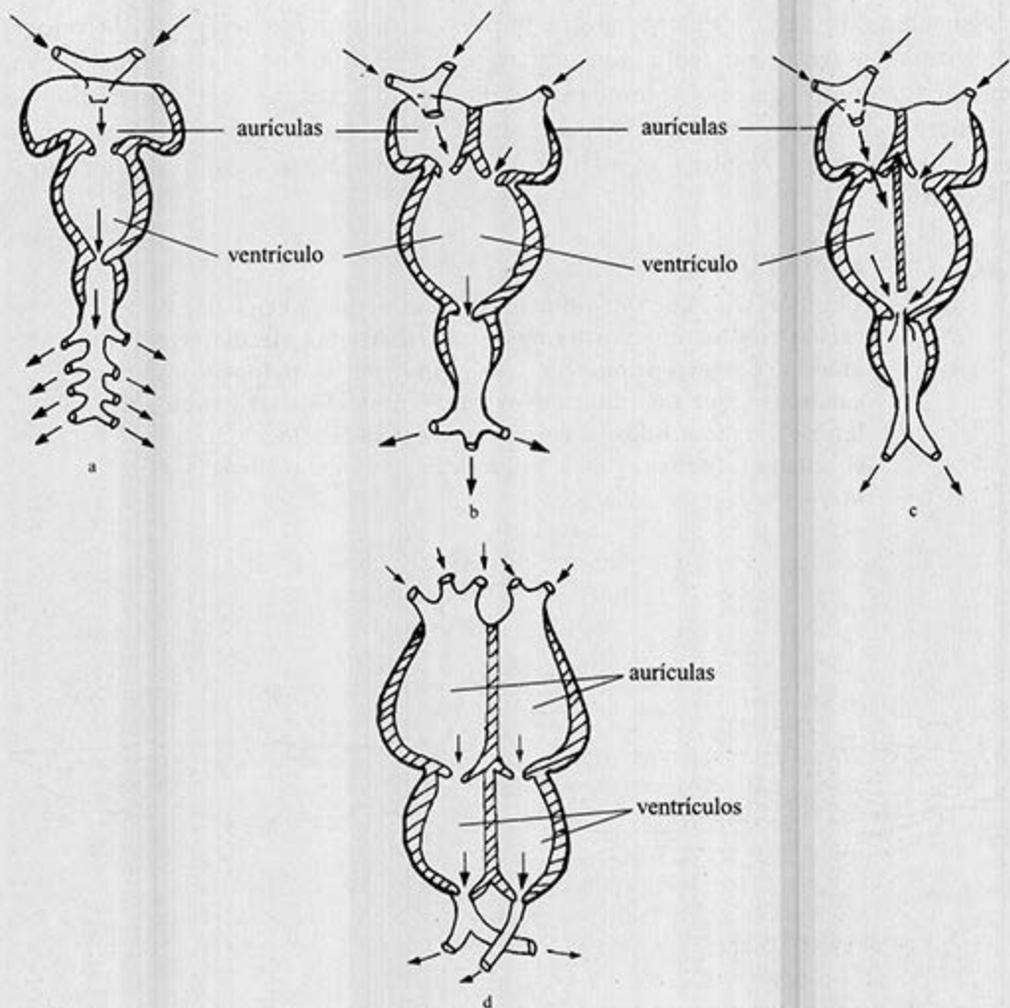


Fig.76 Representación de las características del corazón en vertebrados: a) pez; b) anfibio; c) reptil; d) ave o mamífero.

Ya conocemos que el corazón es el órgano impulsor de la sangre. En él predomina el tejido muscular estriado cardíaco, que posee la propiedad de contractilidad. Las contracciones y relajaciones del corazón permiten que la sangre sea impulsada con una frecuencia e intensidad que están relacionadas con el estado fisiológico del organismo y con las características de la actividad que desarrolla en el medio ambiente. Como la sangre circula por vasos, entonces *ejerce una presión sobre las paredes de estos*, lo que se conoce como **presión sanguínea** (fig. 77), que es consecuencia del impulso que ejerce el corazón al bombear la sangre. De este modo, la sangre puede llegar a todos los tejidos del organismo independientemente del tama-

ño del animal. La circulación de la sangre ocurre, de donde hay más presión sanguínea a donde hay menos, o sea, se produce un gradiente de presión\* que determina a su vez, un flujo sanguíneo.\* Cuando la sangre sale del corazón, debido al impulso de este, la presión sanguínea es alta, pero cuando va recorriendo los vasos, esta va descendiendo y se hace mínima cuando retorna al corazón. Así se mantiene la circulación.

### SABÍAS QUE...

La sangre circula por los vasos sanguíneos a una velocidad media de 2 km/h.

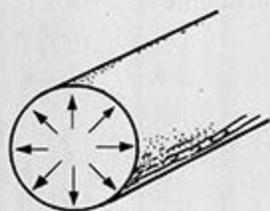


Fig. 77 Representación de la presión sanguínea sobre las paredes de un vaso sanguíneo.

### SABÍAS QUE...

Uno de los signos vitales más importantes del ser humano es su presión sanguínea, que se evalúa a través del esfigmomanómetro. Este parámetro fisiológico proporciona al médico una información del estado de nuestro sistema cardiovascular, de modo que se puedan tomar las medidas necesarias para la conservación de la salud. Este valor varía con la edad del individuo y su estado físico, y por lo general oscila ligeramente alrededor de los 120/80 mm Hg, donde 120 representa la presión sistólica o máxima (cuando se contrae el ventrículo) y 80 representa la presión diastólica o mínima (cuando el ventrículo izquierdo está relajado).

Si colocamos la mano sobre el pecho o nos tomamos el pulso, podremos apreciar que los latidos del corazón se producen de manera rítmica, con una frecuencia determinada. Este ritmo, está dado por una propiedad del corazón que se denomina *automatismo*, y que es consecuencia de la característica de generar impulsos cardíacos de un grupo de células del corazón, que en el ser humano es aproximadamente de 72 impulsos por minuto. Un ejemplo de estas células, son las que constituyen el conocido marcapaso o nodo sinusal, situado en la parte superior de la aurícula derecha. El ritmo de generación de los impulsos, determina la frecuencia del latido cardíaco, y cuando se produce un desorden en ellos es imprescindible acudir al médico.

### SABÍAS QUE...

Las personas que padecen de arritmias cardíacas generalmente necesitan de la implantación de un marcapasos artificial, mediante una sencilla operación ambulatoria. Estos aditamentos se colocan bajo la piel y envían impulsos eléctricos que sustituyen a los impulsos cardíacos. El bloqueo de los EE.UU. sobre Cuba hace muy difícil la adquisición de los marcapasos artificiales.

El impulso que se genera en el nodo sinusal se propaga por toda la masa muscular del corazón mediante un sistema de fibras especializadas, de modo que la conducción de la señal eléctrica llega a todas las zonas de los ventrículos rápidamente (fig. 78).

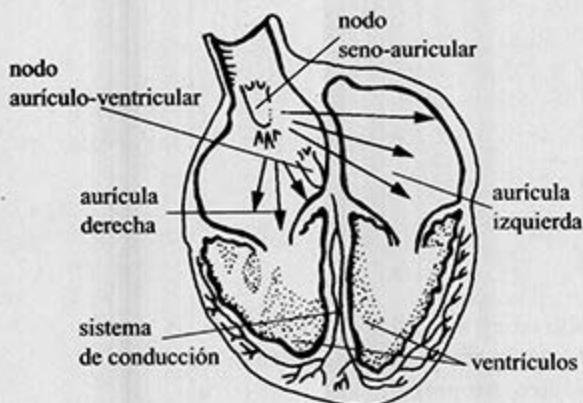


Fig. 78 Representación de la estructura interna del corazón.

Como consecuencia de estas señales eléctricas se produce la contracción de las fibras musculares de las paredes del corazón, y por lo tanto, el impulso de la sangre hacia los vasos que la conducen.

Son las propiedades del corazón: *automatismo*, *conducción* y *contracción*, las que determinan su funcionamiento, y permiten el movimiento de la sangre en los vasos sanguíneos.

### SABÍAS QUE...

“Rompeinfartos”, puede llamársele a la única estreptoquinasa recombinante con aplicación clínica comprobada: la Herberkinasa, un producto del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología (CIGB), con patente presentada en Cuba, Estados Unidos y Europa.

Uno de los componentes del sistema circulatorio cerrado son los vasos sanguíneos, que son las vías por donde circula la sangre, de los cuales existen tres tipos: arterias, venas y vasos capilares; estos presentan diferencias estructurales en correspon-

dencia con sus funciones (fig. 79). Las *arterias* conducen la sangre desde el corazón hacia los tejidos y presentan paredes con una capa muscular más gruesa que las venas, lo que contribuye a mantener la presión sanguínea en sitios alejados del corazón. Las *venas* llevan la sangre de los tejidos al corazón. Generalmente poseen válvulas que facilitan su circulación en contra de la fuerza de gravedad y que llegue nuevamente al corazón. Los *vasos capilares* solamente están constituidos por una capa de tejido epitelial que permite el intercambio de sustancias en el nivel de los tejidos en los que ellos están situados.

### SABÍAS QUE...

La **aterosclerosis** es una enfermedad que se produce cuando en las paredes interiores de las arterias se depositan grasas y forman placas que impiden el flujo normal de la sangre. La enfermedad puede comenzar a desarrollarse desde edades tempranas, pero una dieta baja en grasas animales, abundante en frutas y vegetales y el ejercicio físico son buenos antídotos contra ella.

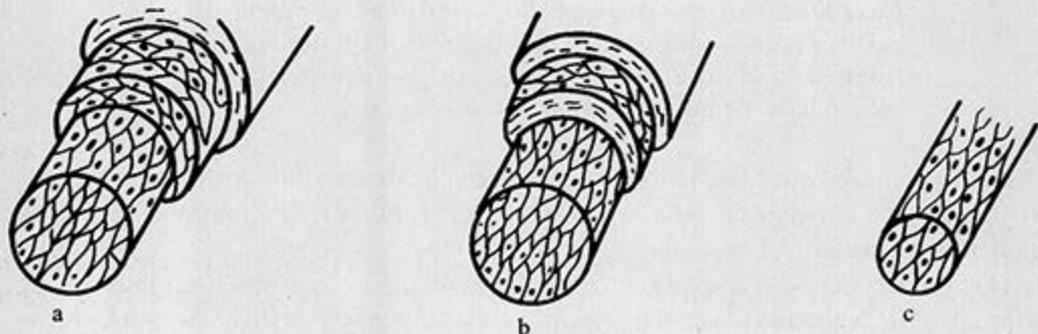


Fig. 79 Representación de la estructura de los vasos sanguíneos: a) arterias; b) venas; c) vasos capilares.

Otro componente del sistema circulatorio son los vasos linfáticos, que a diferencia de los sanguíneos tienen un extremo cerrado. Presentan paredes permeables que posibilitan el paso de sustancias y del líquido intercelular a su interior y válvulas que hacen posible el transporte de la linfa, líquido que circula dentro de ellos, en contra de la fuerza de gravedad. Los vasos linfáticos, las venas y los capilares, permiten que a la sangre se reincorporen sustancias que pasan a través de los capilares sanguíneos al líquido extracelular; de no ocurrir esto, se acumularía un gran volumen de líquido y sustancias en los tejidos (fig. 80). La linfa se vierte en la sangre en una región muy próxima al corazón. En el ser humano, por su posición bípeda, cuando hay dificultades en el transporte a través de los vasos linfáticos se producen inflamaciones en las extremidades inferiores.

En el trayecto de los vasos linfáticos existen *ganglios*, estos son estructuras que producen un tipo de glóbulo blanco, los linfocitos, los cuales, como parte del sistema inmunológico, fagocitan a las bacterias u otras partículas extrañas que penetran en el organismo, y evitan su paso al torrente sanguíneo.

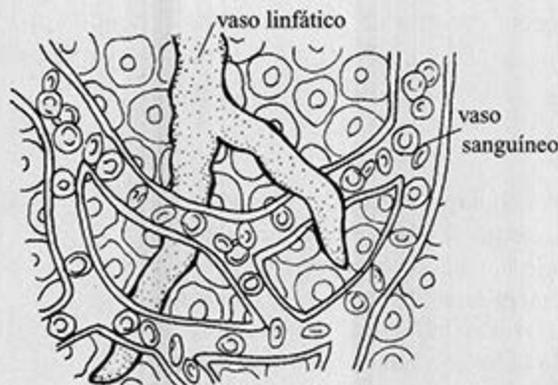


Fig. 80 Representación de la relación entre vasos sanguíneos y linfáticos.

### SABÍAS QUE...

Cuando enfermamos de amigdalitis se inflaman los ganglios del cuello, porque se incrementa la producción de linfocitos como respuesta a la presencia de agentes extraños al organismo. De ese modo, se tiende a mantener la homeostasia.

En los animales que tienen mecanismos especializados de transporte de sustancias, existen líquidos circulantes como la sangre u otros similares y la linfa que se desplazan dentro de los vasos circulantes.

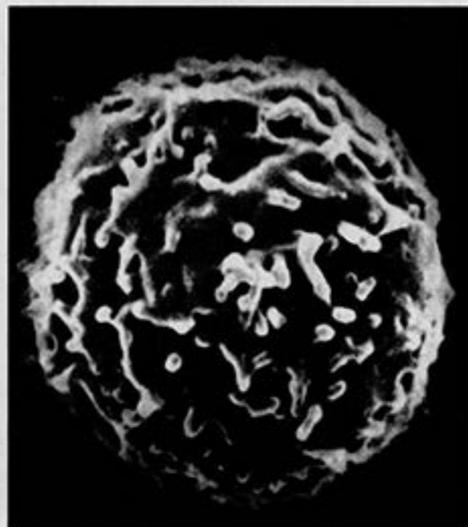
Como conocemos, la *sangre* (ver fig. 19a) es un tejido cuya sustancia intercelular es líquida y se denomina plasma, donde las células libres son de diversos tipos: eritrocitos o glóbulos rojos, leucocitos o glóbulos blancos y trombocitos o plaquetas. Cada uno de los tipos de células tiene características y funciones específicas. En los cordados los eritrocitos (fig. 81a) son los más abundantes y contienen la hemoglobina, la cual transporta los gases respiratorios. Su forma de disco bicóncavo permite que su superficie de intercambio sea mayor y la velocidad de intercambio de gases más rápida que si fueran redondeados.

### SABÍAS QUE...

Si colocáramos a todos los eritrocitos de un ser humano, unos sobre otros, levantaríamos una torre de 50 000 km de altura y formaríamos una línea suficientemente larga como para darle cuatro vueltas a la Tierra. Si los extendiéramos en una superficie plana, aparecería una alfombra roja de 3 800 m<sup>2</sup>.



a



b

Fig. 81 Microfotografía electrónica de: a) eritrocitos de una rata; b) de un leucocito humano.

Los leucocitos (fig. 81b) están en menor cantidad en relación con los eritrocitos, tienen núcleo y su función principal es la defensa del organismo ante agentes patógenos, así como eliminar células muertas o viejas en el organismo. Los trombocitos son fragmentos de células cubiertos por membranas, generalmente sin núcleo que intervienen en el proceso de coagulación de la sangre ante una hemorragia.

El plasma contiene sustancias absorbidas en el intestino, proteínas plasmáticas, hormonas, otras con función de anticuerpos, sales minerales, y en mayor proporción, agua.

### SABÍAS QUE...

Cada tipo de célula sanguínea se encuentra en cantidad más o menos estable en el organismo, pero puede variar según el estado fisiológico. En condiciones normales, el número de eritrocitos en el hombre es de 5,2 millones por milímetro cúbico de sangre y en la mujer, es de 4,7 millones; la cantidad de leucocitos en el hombre es de 7 000 por milímetro cúbico de sangre y el número de plaquetas es de 300 000 en la misma unidad de volumen. Ante una infección, se incrementan los leucocitos, pero cuando se produce anemia, disminuyen los eritrocitos. Estos últimos pueden incrementarse a niveles por encima de lo normal cuando se asciende una montaña o al trasladarse a vivir en sitios más altos en relación con el nivel del mar.

Algunos iones disueltos en el plasma y la hemoglobina de los eritrocitos contribuyen a la regulación del pH del medio interno cuando se produce una alteración metabólica, sobre todo al incrementarse la concentración de iones hidrógeno ( $H^+$ ), lo que coadyuva al mantenimiento de la homeostasia.

Las células libres son muy pocas en animales como los moluscos, anélidos y artrópodos y se denominan corpúsculos ameboides que son similares a los glóbulos blancos. En estos organismos existen proteínas transportadoras como la hemoglobina y la hemocianina que trasladan gases y dan a la sangre un color característico.

### **SABÍAS QUE...**

**El plasma contiene una mezcla de sustancias absorbidas en el intestino, proteínas, sales minerales, gases disueltos y hormonas. El agua es su principal componente, en un 90 a 92 % y las proteínas representan un 7 a 8 % de su composición. Entre estas se encuentran anticuerpos como las inmunoglobulinas y las proteínas de la coagulación como el fibrinógeno.**

Resumiendo, las funciones de la sangre son:

- Transporte de dioxígeno, sustancias nutritivas y hormonas hacia los tejidos.
- Transporte de dióxido de carbono y sustancias de desecho hacia los sitios donde son eliminados.
- Defensa del organismo.
- Regulación de la temperatura corporal en organismos de temperatura constante (homeotermos).

El otro líquido circulante en animales superiores es la *linfa*, que se forma al pasar el líquido extracelular que se encuentra en contacto directo con las células, al interior de los capilares linfáticos, por lo que se considera un filtrado del plasma. Está constituida fundamentalmente por agua, iones de sodio ( $Na^+$ ) y potasio ( $K^+$ ), ácidos orgánicos y algunas proteínas. La linfa circula a poca velocidad y en una sola dirección: de los tejidos a la sangre y al corazón.

### **SABÍAS QUE...**

**La linfangitis es una enfermedad producida por la dilatación de los vasos linfáticos como resultado de un proceso infeccioso. Aunque se presenta con más frecuencia en las extremidades inferiores de personas con trastornos circulatorios, también puede ocurrir en los miembros superiores.**



### **Tarea**

1. Argumenta la afirmación siguiente: "Los líquidos circulantes constituyen una adaptación importante en los organismos pluricelulares con cierto grado de complejidad".
2. Explica la relación entre las funciones vegetativas: nutrición y transporte de sustancias.
3. Elabora un párrafo en cada caso donde establezcas la relación entre los términos siguientes:
  - Organismos pluricelulares-mecanismos de transporte-adaptaciones.
  - Organismos unicelulares-citoplasma-metabolismo.
4. Explica la relación existente entre las propiedades del corazón.
5. La preparación física de los atletas no depende solamente de su masa muscular y de sus habilidades prácticas, sino también influye, en gran medida, el entrenamiento de su sistema cardiovascular. Explica este hecho.

### **Regulación de la circulación**

Conocemos que todos los procesos en los organismos están regulados. En los animales con estructuras especializadas de transporte, la circulación está regulada por mecanismos endocrinos y nerviosos. En esta función influye la regulación de la actividad cardíaca y del flujo sanguíneo.

#### **¿Cómo se regula la actividad cardíaca?**

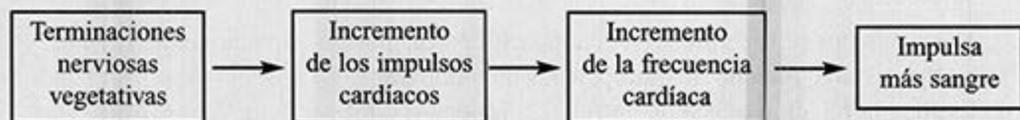
En el corazón se generan los impulsos cardíacos que determinan la contracción muscular cardíaca. Todos hemos experimentado momentos en que los latidos del corazón se incrementan en frecuencia, como por ejemplo, después de un susto o al correr, y sabemos que cuando estamos en estado de reposo o realizando una actividad sosegada, como leer, estudiar o disfrutar de una obra de arte, la frecuencia de los latidos es menor. Esta observación nos lleva a pensar que la actividad del corazón no es totalmente autónoma, sino que también está subordinada al funcionamiento del organismo como un todo.

### SABÍAS QUE...

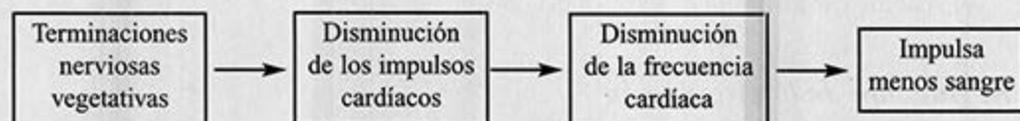
Se conoce que el corazón puede bombear toda la sangre que le llega dentro de los límites fisiológicos (Ley de Frank-Starling), que en el ser humano es alrededor de 15 L/min. Si la cantidad de sangre que se bombea se encuentra dentro de ese límite, el mecanismo de regulación intrínseco del corazón permite ajustar la fuerza de la contracción.

Cuando las necesidades metabólicas de los tejidos aumentan, por ejemplo, al realizar una actividad física, la sangre es impulsada por encima de los límites fisiológicos y, entonces, intervienen mecanismos de regulación a través del sistema nervioso neurovegetativo. Las terminaciones axónicas modifican la frecuencia de generación de los impulsos cardíacos, y como consecuencia, la frecuencia y fuerza de las contracciones. Veamos dos ejemplos:

Ejemplo 1:



Ejemplo 2:



Comprenderemos fácilmente que al incrementar la actividad física o ante una situación de alarma (estrés), aumenta la frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco, y al retornar a la normalidad, de forma progresiva, estos se reajusten hasta alcanzar los valores normales.

La regulación endocrina de la actividad cardíaca está dada por la acción de las hormonas adrenalina y noradrenalina producidas por la médula de las glándulas suprarrenales. Su acción es similar a la del sistema nervioso neurovegetativo. Las hormonas tiroideas también tienen un efecto estimulador sobre la actividad cardíaca.

### SABÍAS QUE...

La vasoconstricción y la vasodilatación son fenómenos que están regulados por mecanismos nerviosos y endocrinos. Cuando se produce una emoción, como el enamoramiento, o se sufre una vergüenza, los vasos capilares de la cara se dilatan, afluye mayor cantidad de sangre y se produce el rubor o enrojecimiento. Cuando se experimenta miedo intenso, la palidez del rostro se debe a una constricción de los capilares, de modo que afluye menos sangre.

Otra de las acciones reguladoras de la circulación sanguínea ocurre a nivel de los vasos sanguíneos, de modo que se modifica la irrigación de los tejidos de acuerdo con el consumo de dioxígeno. En los tejidos, los vasos sanguíneos aumentan su diámetro (vasodilatación), o lo disminuyen (vasoconstricción), y con ello aumenta o disminuye el riego sanguíneo, respectivamente.

Cuando el diámetro de los vasos disminuye, la presión que ejerce la sangre sobre las arterias (presión arterial) se incrementa. Si el diámetro de los vasos aumenta, la presión disminuye.

Como puede observarse, diversos factores influyen sobre el flujo sanguíneo hacia los tejidos, de modo que lleguen a todas las células los requerimientos nutricionales y el  $O_2$ , y que sean eliminados los productos de desecho del metabolismo. Esto demuestra que los procesos fisiológicos están relacionados entre sí en el funcionamiento del organismo como un todo, y que los mecanismos de regulación permiten los ajustes que determinan el equilibrio dinámico del medio interno, es decir, la homeostasia.



### **Tarea**

1. Explica la importancia de la regulación de la actividad cardíaca en el mantenimiento de la homeostasia.
2. Cuando le tememos a algo y emprendemos una huida, se incrementa la frecuencia cardíaca y la piel del rostro se torna pálida. ¿Qué explicación pudieras darle a este hecho?
3. Elabora un esquema lógico con los términos siguientes:
  - regulación
  - adaptación
  - homeostasia
  - transporte de sustancias
  - sistema nervioso
  - sistema endocrino

### **Respiración**

En grados anteriores estudiamos que todos los organismos requieren del aporte y la utilización de energía proveniente del medio ambiente, lo cual es indispensable en el mantenimiento de todas sus funciones y por lo tanto, de la vida.

La energía que se obtiene por oxidación de compuestos químicos en los procesos metabólicos celulares de respiración y fermentación, es transferida a la formación de enlaces fosfatos del ATP. Esta energía es utilizada en otros procesos metabólicos

como la síntesis y el transporte de sustancias, en los procesos de excitabilidad y en la contracción muscular, entre otras funciones, que ocurren a nivel celular y de organismo.

El término **respiración** suele entenderse por diferentes autores con acepciones diferentes. Como estudiamos, en un sentido estricto, consiste en la *liberación de energía mediante la oxidación de sustancias a nivel celular*. Sin embargo, en los organismos con respiración aerobia, se hace necesario el aporte constante de  $O_2(g)$  a las células, como último aceptor de electrones de la cadena respiratoria, y la salida del  $CO_2(g)$ , como un producto de la descarboxilación\* de compuestos orgánicos.

Esto implica que, al estudiar la respiración como función vegetativa de los organismos, debemos incluir el estudio de los mecanismos de la ventilación, el intercambio y el transporte de gases que se producen en los organismos y que aseguran el aporte de  $O_2(g)$  y la salida de  $CO_2(g)$  a nivel celular.

Todos los organismos, desde los unicelulares hasta los pluricelulares, han desarrollado como resultado del proceso evolutivo, una gran diversidad de adaptaciones que permiten la ventilación, el intercambio y el transporte de gases en diferentes condiciones del medio ambiente donde viven, ya sea acuático o terrestre, en regiones húmedas o áridas, a bajas o grandes alturas, que serán objeto de estudio en este epígrafe.

## **Ventilación**

Cuando asistimos a una consulta médica con una afección respiratoria, el médico nos consulta y nos pide que respiremos. Sin embargo lo que conocemos comúnmente como "respiración", en realidad son los mecanismos de ventilación que posibilitan el intercambio de gases.

Los mecanismos de ventilación están presentes o no en los seres vivos, en dependencia de su grado de complejidad y de su hábitat. En la mayoría de los animales, la **ventilación** *permite el movimiento del medio externo, ya sea aire o agua, sobre la superficie del organismo donde se produce el intercambio de gases, lo que contribuye a la existencia de una diferencia de presión parcial*. Este mecanismo, está acoplado a los movimientos de los líquidos circulantes en las superficies respiratorias.

La ventilación ocurre en estas áreas, generalmente, mediante la participación de estructuras como son los cilios, los flagelos o los músculos, los cuales mueven el medio externo con respecto al organismo, proporcionando así un gradiente de difusión en las superficies de intercambio.

En el caso de los organismos como las esponjas, los mecanismos de ventilación se realizan como consecuencia del movimiento de los flagelos de los coanocitos\* (fig. 82); en otros, como en los crustáceos marinos, la ventilación se logra en parte, por movimientos del medio externo como son las corrientes marinas, aunque en la mayoría de los casos ocurre también el movimiento muscular.

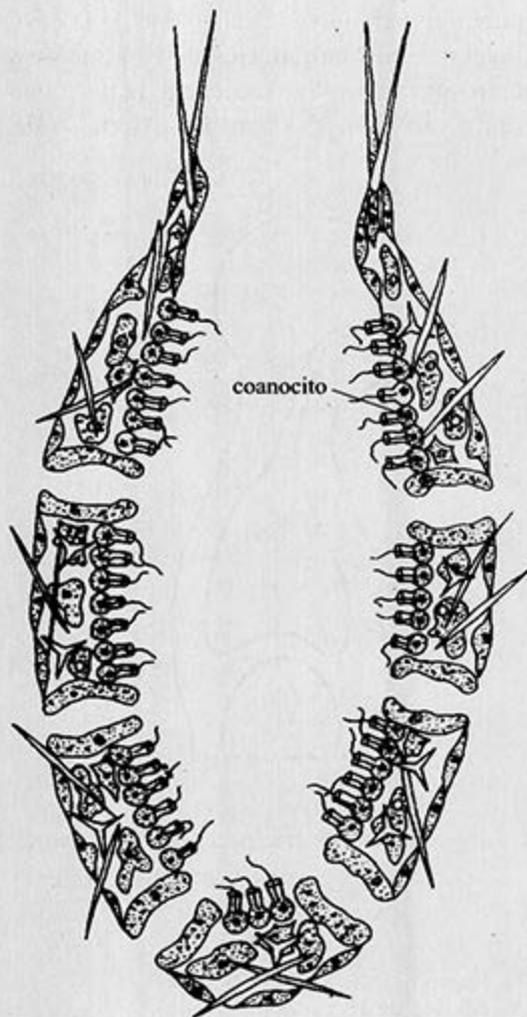


Fig. 82 Representación de una esponja donde se observan los coanocitos.

### SABÍAS QUE...

De acuerdo con los diferentes hábitos de vida de las especies de peces, se pueden observar variaciones en los mecanismos de ventilación. Por ejemplo, las especies que nadan rápidamente mantienen la boca y los opérculos abiertos continuamente.

En los mamíferos, los mecanismos ventilatorios de inspiración y espiración se realizan por contracciones y relajaciones de los músculos que limitan el tórax, principalmente el diafragma y los intercostales. Cuando el diafragma desciende y las costillas se desplazan hacia delante, se ensancha la cavidad torácica y los pulmones se llenan de aire, ocurriendo la *inspiración*. Al contrario, durante la *espiración*, al rela-

jarse los músculos relacionados con la inspiración disminuye la capacidad de la cavidad torácica y sale el aire (fig. 83). Los mecanismos ventilatorios de inspiración y espiración están regulados por el sistema neurovegetativo. La frecuencia de los movimientos ventilatorios se puede modificar ante variaciones del medio externo o del medio interno.

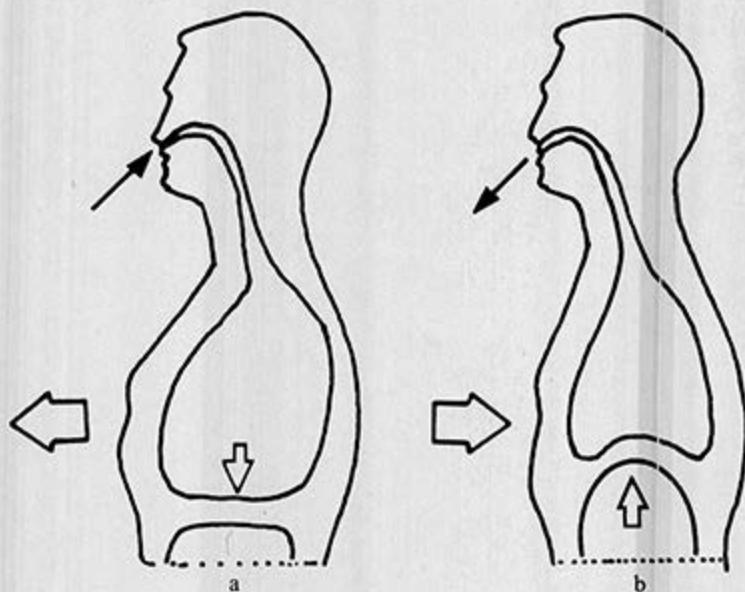


Fig. 83 Representación de los movimientos de ventilación en el hombre: a) inspiración; b) espiración.

#### SABÍAS QUE...

Una persona en reposo ventila alrededor de 15 veces por minutos; el elefante, 6; pero un ratón, 200 veces por minuto.

#### SABÍAS QUE...

Una persona en reposo inspira alrededor de 0,3 a 0,5 L de aire en cada movimiento ventilatorio, espirando una cantidad igual a esa. Sin embargo, cuando esa persona está trabajando inspira 1 ó 2 L y hasta más. La profundidad ventilatoria de un caballo en reposo es de 5 L; la de una cabra, de solo 0,3 L, la de un perro de 0,1 a 0,3 L; y la de un ratón de 0,001 L. La cantidad total de aire que se puede espirar después de una inspiración lo más grande posible se denomina capacidad vital. El hombre posee una capacidad vital de 4 a 5 L y el caballo de 30 L.



### **Tarea**

1. Analiza la definición de ventilación y explica la importancia de este proceso.
2. Ejemplifica las adaptaciones presentes en la ventilación en diferentes grupos de organismos.
3. Se observa que el tórax y la capacidad ventilatoria (respiratoria) son mayores en las personas que poseen un estilo de vida activo y que practican deportes sistemáticamente. ¿Qué explicación podrás dar a este fenómeno?

### **Intercambio de gases. Factores que lo permiten**

Al proceso mediante el cual los gases respiratorios difunden a través de una membrana según la presión parcial de los mismos, se le denomina **intercambio de gases**.

Todos los organismos de respiración aerobia obtienen dióxigeno del medio ambiente en que se desarrollan, ya sea el que se encuentra en la atmósfera o disuelto en el agua, y eliminan dióxido de carbono. Este intercambio se realiza de forma simultánea; el dióxigeno está entrando constantemente y a su vez el dióxido de carbono está saliendo al exterior.

En correspondencia con el grado de complejidad alcanzado por los organismos, algunos realizan el intercambio de gases directamente del medio ambiente a sus células, mientras que otros presentan sistemas respiratorios que hacen posible el intercambio en áreas específicas. Por eso podemos decir que el intercambio de gases puede ser *directo* o *indirecto*.

El **intercambio de gases directo** es característico de organismos carentes de sistemas respiratorios. En ellos los gases se difunden a través de la membrana citoplasmática (fig. 84). Entre los organismos que realizan este tipo de intercambio tenemos: las bacterias, los hongos, las plantas y algunos animales como las esponjas y los celenterados.

Aunque las plantas vasculares presentan una estructura compleja, casi todas sus células vivas están en contacto con el medio ambiente en que se desarrollan, por eso el dióxigeno y el dióxido de carbono pueden llegar a las células directamente.

En el transcurso de la evolución se han desarrollado muchas especies de animales, de gran tamaño, complejidad y con tegumentos impermeables, en los cuales se realiza un proceso de **intercambio de gases indirecto** (fig. 85). Este intercambio de gases es característico de organismos que presentan sistemas o áreas especializados en esta función, ya que el dióxigeno debe circular por numerosas vías hasta llegar el área de intercambio.

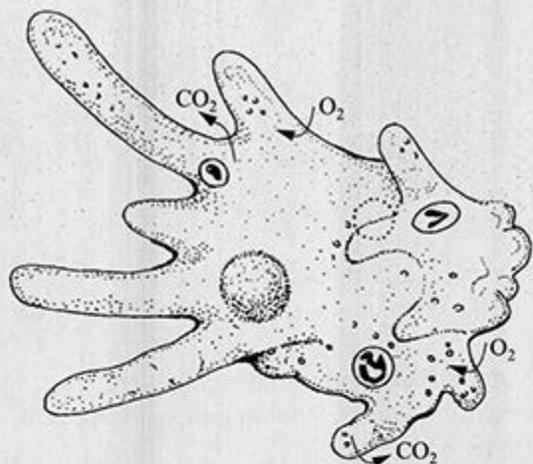


Fig. 84 Representación esquemática del intercambio de gases directo en un protista.

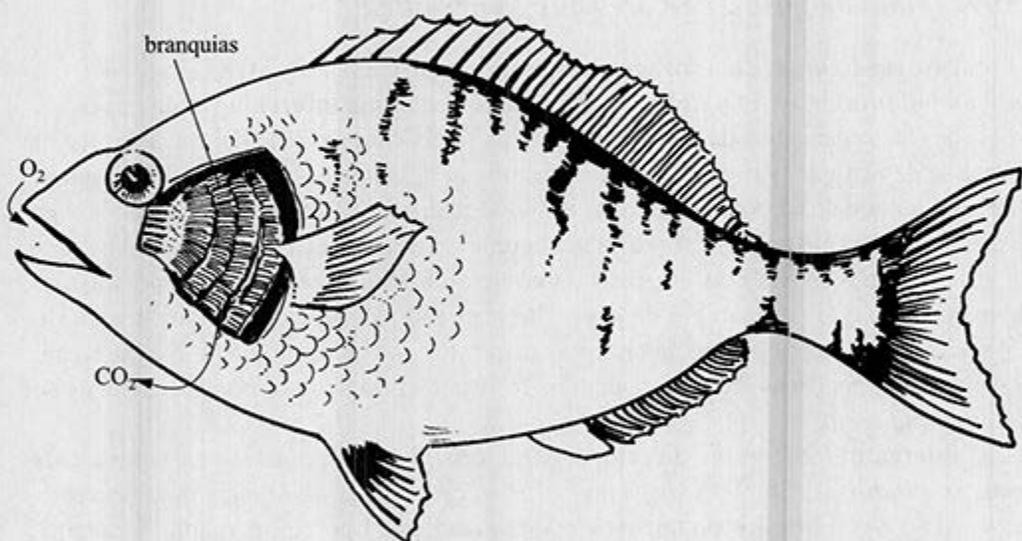


Fig. 85 Representación del proceso de intercambio de gases indirecto en un pez.

Entre los organismos que realizan este tipo de intercambio tenemos a: los anélidos, los artrópodos, los peces, las aves y los mamíferos.

Existen factores que hacen posible la realización del intercambio gaseoso, ya sea directo o indirecto.

Entre los *factores básicos del intercambio de gases* tenemos:

- La diferencia en la concentración del gas entre los dos medios (externo e interno), desarrolla una diferencia de presión, lo cual determinará *un gradiente de difusión favorable al desplazamiento del gas desde las zonas donde está más concentrado a*

*las de menor concentración.* La diferencia en la presión parcial del gas entre el medio interno y el externo trae como consecuencia su movimiento a través de las membranas.

- La existencia de *áreas de intercambio* formadas por superficies permeables al oxígeno, dióxido de carbono y agua u orificios o aberturas en las paredes impermeables que permitan el paso de los gases.
- *Un medio líquido, o por lo menos una superficie húmeda* donde se disuelvan estos gases.

En los organismos se han desarrollado adaptaciones en los mecanismos de ventilación que permiten mantener la diferencia en la presión parcial de los gases al provocar el movimiento de los gases del medio externo sobre la superficie de intercambio.

En el subepígrafe siguiente conoceremos ejemplos de adaptaciones desarrolladas en los organismos durante el proceso evolutivo, en los cuales se evidencian los factores que hacen posible el intercambio de gases y, por consiguiente, la respiración celular.

### SABÍAS QUE...

La permeabilidad de las membranas especializadas en el intercambio de gases es 20 veces mayor para el  $\text{CO}_2$  que para el  $\text{O}_2$ .

El plegamiento de las superficies respiratorias aumenta considerablemente el área de intercambio, que en el hombre puede alcanzar hasta  $70 \text{ m}^2$ .



### Tarea

1. ¿En qué consiste el proceso de intercambio de gases? Explica la relación entre la ventilación y el intercambio de gases en los animales.
2. Confecciona dos listados con ejemplos de organismos con intercambio de gases directo e indirecto.
3. ¿Cuáles son los factores básicos para el intercambio de gases? Ejemplifica en cada caso.
4. Todos los organismos de respiración aerobia obtienen dióxígeno del medio ambiente en que se desarrollan, sin embargo, no todos lo obtienen de la misma forma. Argumenta la afirmación anterior e ilústrala con ejemplos.
5. Seguramente, has podido observar que las lombrices de tierra viven en galerías húmedas que hacen en la tierra y que huyen cuando son expuestas al calor del sol.

¿Qué explicación darías a partir de lo estudiado sobre la regulación de las funciones y el intercambio de gases?

### Adaptaciones que permiten el intercambio de gases

Como ya sabemos, una condición imprescindible en la realización del intercambio de gases es que exista una diferencia en la concentración de gases entre el medio ambiente y el interior del organismo. ¿Cuáles son las causas que contribuyen a mantener esta diferencia?

Una de las causas es que la actividad metabólica de los organismos ocasiona el consumo constante de dióxígeno que penetra en su interior.

Recordemos que el dióxígeno que se libera en la actividad fotosintética de las plantas y las algas, contribuye al enriquecimiento del medio ambiente. Además los mecanismos de ventilación en los animales, aseguran la renovación del fluido que está en contacto con la superficie de intercambio de gases. Esta es la causa de la existencia de una diferencia entre la presión parcial del gas entre los medios externo e interno, lo que posibilita su difusión a través de las membranas.

Otra de las condiciones necesarias en la realización del intercambio de gases es la existencia de superficies permeables o aberturas en las paredes impermeables. Ya estudiamos que los organismos unicelulares o los pluricelulares menos complejos, poseen sus células en contacto directo con el medio ambiente, por lo que realizan el intercambio de gases directo.

¿Qué adaptaciones poseen los organismos de mayor complejidad, que les permiten el intercambio de gases en diferentes condiciones ambientales?

Las plantas terrestres presentan estructuras especializadas que posibilitan la realización del intercambio de gases. Estas estructuras son los estomas y las lenticelas (fig. 86).

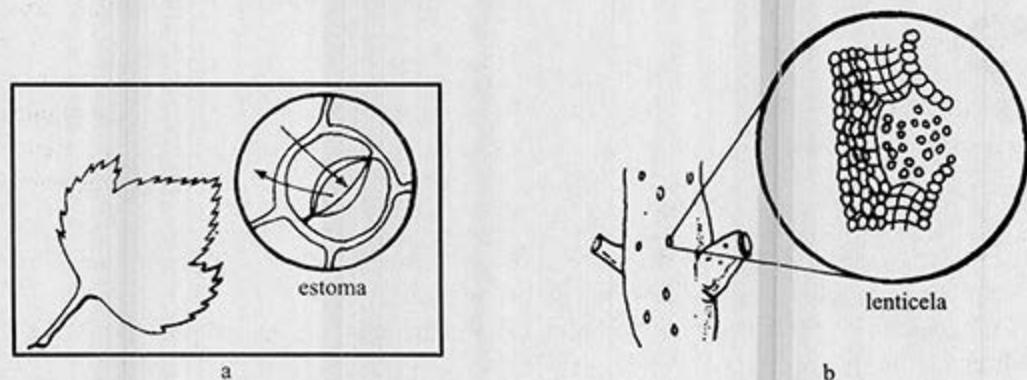


Fig. 86 Estructuras especializadas en el intercambio de gases en las plantas: a) estomas; b) lenticelas.

Los *estomas* son poros o aberturas, cuyas características estudiamos anteriormente, que se encuentran situados principalmente en las hojas, los tallos jóvenes, las flores y los frutos. Las *lenticelas* son pequeños orificios situados en los tallos leñosos. También a través de los *pelos absorbentes* de las raíces penetran los gases disueltos en el agua del suelo.

El intercambio de gases en los tallos verdes y las hojas de la planta, está muy relacionado con la actividad metabólica. Los procesos de fotosíntesis y respiración se realizan durante el día y la noche de forma ininterrumpida, pero la intensidad de estos es diferente. Durante el día, la actividad fotosintética es mayor. Recordemos que en la realización de este proceso, la planta consume grandes cantidades de dióxido de carbono, lo cual ocasiona que la presión parcial de este gas disminuya en su interior.

Analicemos cómo influye esto en el intercambio de gases en una hoja de una planta: el dióxido de carbono atmosférico penetra por los estomas hasta los espacios intercelulares existentes entre las células de los tejidos internos de la hoja y difunde al interior de las células a través de la humedad que las rodean (ver fig. 10). Del dioxígeno que se obtiene en este proceso, una parte se utiliza por el vegetal en el proceso de respiración y otra sale al exterior por difusión. Por esta razón se recomienda que en las ciudades se fomente la creación de áreas verdes donde se siembran árboles para enriquecer la atmósfera con dioxígeno y la protección de las áreas forestales.

Durante la noche, la intensidad de la respiración es mayor. Tengamos en cuenta, que en la realización de esta función la planta consume dioxígeno, lo que hace que la presión parcial del gas disminuya en el interior de la planta, provocando la entrada del gas por los estomas, por el recorrido antes descrito, hasta llegar a las células. Una gran parte del dióxido de carbono que se produce en este proceso es utilizado por la planta en la realización de las reacciones de la oscuridad de la fotosíntesis durante el día, pero en la noche, sale al exterior por los estomas. Por esta razón no se recomienda dormir con plantas en el interior de habitaciones cerradas.

En el transcurso de la evolución, en las plantas acuáticas se desarrollaron diversas adaptaciones según su modo de vida, de las que se pueden distinguir dos formas básicas.

Una de ellas la conforman las plantas que viven parcialmente sumergidas, estas presentan parte del tallo aéreo y sus hojas pueden ser aéreas o flotantes. Una de sus características más generales es el desarrollo de los espacios intercelulares, los que permiten la circulación del aire, posibilitando la difusión de los gases. Entre estas plantas tenemos el macío y el mangle, el que presenta raíces muy modificadas que se elevan verticalmente y permiten la realización del intercambio gaseoso en el aire. Estas raíces reciben el nombre de neumatóforos (fig. 87).

Otras plantas viven completamente sumergidas (fig. 88); estas presentan características especiales, como son: la presencia de una cutícula muy fina cubriendo la epidermis y en muchos casos la ausencia de ella, lo que les permite desarrollar el intercambio gaseoso en el agua, donde la cantidad de oxígeno disuelto es mucho menor que en el aire, y la difusión de los gases es más lenta. Su tejido epidérmico es muy fino y con frecuencia carecen de estomas, sus hojas son delgadas, con un tejido homogéneo de grandes células que hacen posible la entrada y salida de gases a la planta. Como ejemplo tenemos la cabomba, la elodea, la cinta y otras plantas de peceras. En las plantas terrestres existen adaptaciones que mantienen la humedad necesaria en este proceso, como son la presencia de una cutícula de cutina, sustancia impermeable al agua y a los gases, que cubre la epidermis del vegetal, la cual ayuda a impedir la pérdida de agua por evaporación.

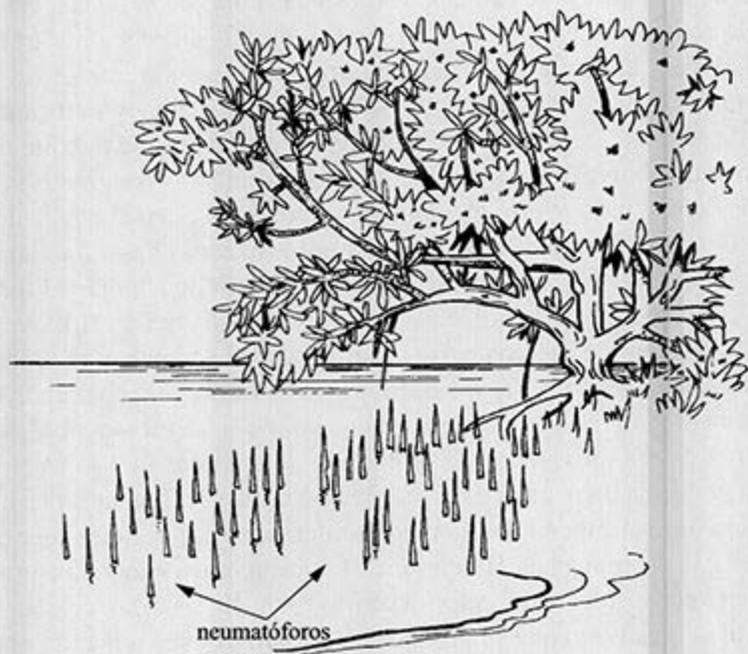


Fig. 87 Representación de los neumatóforos en un manglar.



Fig. 88 Intercambio de gases en plantas sumergidas.

### SABÍAS QUE...

Existen plantas como las cactáceas que están adaptadas a vivir en lugares muy secos y que solo abren sus estomas por la noche para efectuar el intercambio de gases y evitar la deshidratación por transpiración excesiva durante el día.

En los animales que alcanzan ciertas dimensiones o presentan superficies impermeables se han desarrollado áreas especializadas en la función de intercambio de gases, a las que se denominan áreas de intercambio; entre ellas tenemos: los tegumentos en la

mayoría de los anélidos y en anfibios; las tráqueas en los insectos; las branquias en los peces y anfibios en estado larval; y los pulmones en los anfibios, reptiles, aves y mamíferos (fig. 89).

Las áreas de intercambio de los animales difieren unas de otras, pero su función, en esencia, es la misma. En los tegumentos, branquias y pulmones el intercambio de gases se realiza a través de finas membranas que expone su cara externa al aire o al agua y la interna a los vasos sanguíneos; a la sangre se incorpora oxígeno mientras que expulsa dióxido de carbono al exterior. La circulación es el mecanismo de transporte que lleva a los gases a todas las células del cuerpo.

La mayoría de los anélidos realizan el intercambio gaseoso mediante el *tegumento* (fig. 89a). Por ejemplo, en la lombriz de tierra, organismo de pequeño tamaño, cuerpo alargado y que desarrolla poca actividad, los requerimientos de dióxigeno no son muchos. La piel húmeda permite la difusión de los gases, el dióxigeno alcanza a la sangre que circula por los capilares y llega así a todas las células del cuerpo; el dióxido de carbono producto de la respiración es llevado por la sangre hasta la piel, a través de la cual difunde al exterior.

Si tomamos en la mano a una rana o a una lombriz de tierra notaremos lo difícil que resulta sujetar a estos animales húmedos y resbalosos que poseen una mucosa que rodea su tegumento.

### SABÍAS QUE...

**Una rana puede eliminar la totalidad del CO<sub>2</sub> a través de la piel y cubrir la mitad de sus necesidades de O<sub>2</sub> por esa misma vía.**

En los anfibios, se han desarrollado estructuras cuya función es la realización de un intercambio de gases más eficiente en correspondencia con su tamaño, hábitat y modo de vida, esas estructuras son las branquias en estado larval y los pulmones en estado adulto. Como estas estructuras están poco desarrolladas, estos organismos mantienen además el intercambio gaseoso por la piel y la mucosa bucal.

Organismos como los insectos y algunos arácnidos presentan estructuras llamadas *tráqueas* (fig. 89b). En la superficie del cuerpo de estos organismos se encuentran unos pequeños orificios llamados *espiráculos*, los que se continúan con un sistema de tubos muy finos llamados tráqueas, que se ramifican hacia todos los órganos y tejidos. Las tráqueas presentan un líquido en su extremo final en el cual difunde el oxígeno y el dióxido de carbono.

El aire entra por los espiráculos y por los movimientos del tórax y del abdomen, continúa su recorrido por las tráqueas hasta llegar al extremo interno donde ocurre el intercambio de gases. De esta forma el dióxigeno llega a todas las células del organismo y se realiza una rápida difusión de los gases, lo que garantiza el suministro de grandes cantidades de dióxigeno, posibilitando así la liberación de energía necesaria en la realización de las funciones vitales y en especial, del vuelo.

El hombre, al estudiar las características fundamentales de estas estructuras, aplica sus conocimientos para eliminar a los insectos perjudiciales empleando insecticidas compuestos por aceites, emulsiones o polvos que afecten la función de todos sus espiráculos, impidiendo así la entrada de aire.

Los animales acuáticos, como los peces y los crustáceos, entre otros, presentan *branquias* que son estructuras cuya superficie oscila entre 200 y 2 000 mm<sup>2</sup>/g de peso corporal, generalmente mayor que la superficie externa del organismo; esta y otras características como los numerosos filamentos que la forman, cubierto por una red abundante de capilares, hacen de las branquias estructuras especializadas en la realización de intercambio gaseoso en el medio acuático.

### SABÍAS QUE...

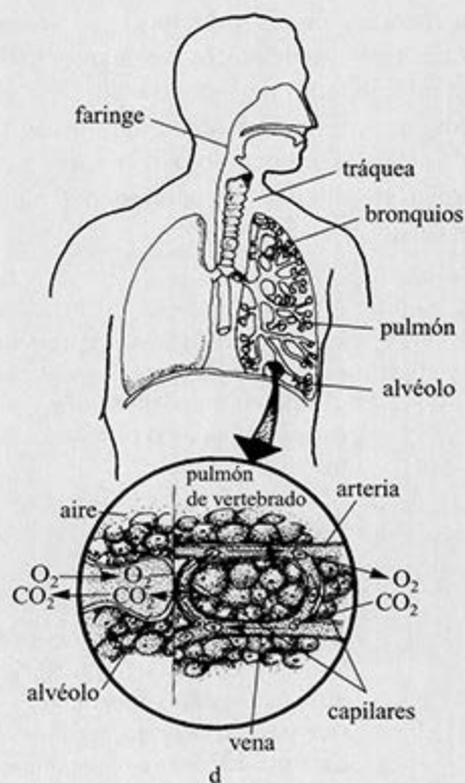
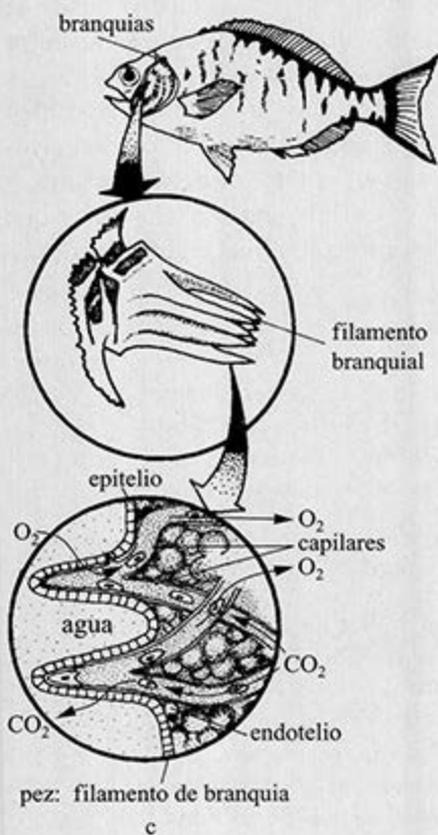
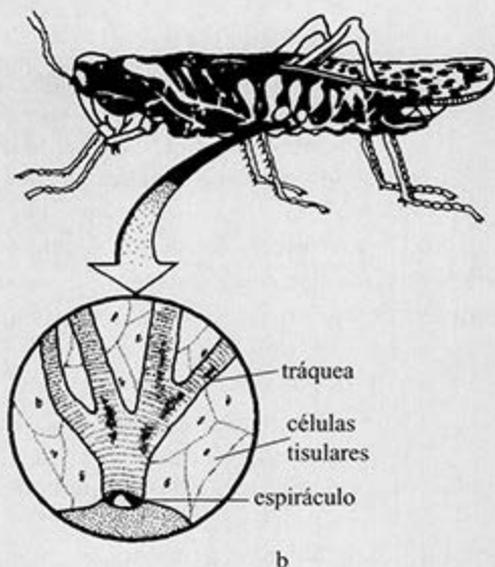
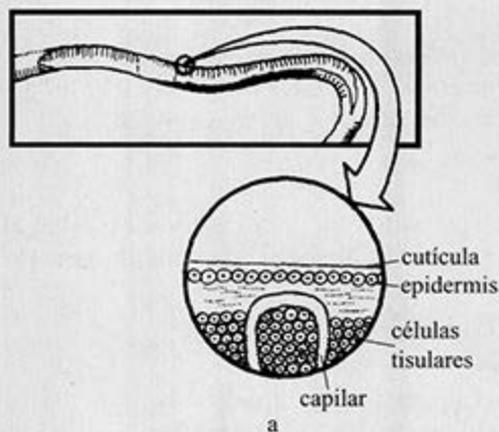
**Existen peces que poseen uno o dos sacos pulmonares formados por un epitelio dividido en cámaras y son denominados: peces pulmonados.**

Los peces, por ejemplo, toman por la boca el agua que baña a las *branquias* y sale por el *opérculo*. El dióxigeno disuelto en el agua, difunde a través de la superficie fina y húmeda de las branquias y alcanza la sangre, y de ahí pasa a las células de los tejidos. El dióxido de carbono, producto final de la respiración, pasa a la sangre de los capilares y de estos a las branquias, a través de las cuales difunde hasta el agua del medio ambiente acuático (fig. 89c).

Animales terrestres como anfibios, reptiles, aves y mamíferos presentan *pulmones*. En el hombre (fig. 89d) los pulmones son estructuras muy semejantes a los de los restantes cordados. Están formados por un par de sacos ciegos divididos en cavidades diminutas, los *alvéolos*; estas estructuras son semejantes a pequeños sacos en forma de racimo, en los que el epitelio que los forma es una membrana muy fina y húmeda rodeada por una red de capilares; el tejido que forma los alvéolos permite el cambio de volumen con la entrada y salida del aire.

El aire penetra por las fosas nasales y circula por una serie de vías hasta el interior de los pulmones. Los mecanismos de ventilación permiten la entrada y salida del aire en los pulmones. Una vez en los alvéolos, el dióxigeno difunde a través de sus membranas a la sangre que circula por los capilares pulmonares, a su vez el dióxido de carbono existente en ella, difunde en la membrana alveolar y sale al exterior disuelto en el aire, ocurriendo de esta forma el intercambio de gases en los pulmones.

Las diferencias existentes entre los pulmones de diversos grupos de animales están relacionadas con el aumento del área de intercambio de gases, lo que junto al mecanismo empleado en la renovación del aire, hace posible que el intercambio de gases sea eficiente en diferentes hábitats y modos de vida. Por ejemplo las aves, presentan sacos aéreos conectados a los pulmones, que permiten que durante la espiración, vuelva a pasar aire oxigenado hacia los pulmones. Esto constituye una adaptación para el vuelo a grandes altitudes.



**Fig. 89** Áreas de intercambio de gases en diferentes organismos: a) tegumento en anélidos; b) tráqueas en insectos; c) branquias en peces; d) pulmones en el hombre.

### **SABÍAS QUE...**

**La totalidad de la superficie de los alvéolos pulmonares humanos equivale a unas 66 veces la superficie corporal. El flujo de sangre por dicha superficie dura 1 s, sin embargo, el intercambio gaseoso se realiza en solo 0,4 s.**

En los mamíferos existe eficiencia en la renovación del aire. Esto hace posible el eficiente intercambio de gases que se realiza en los pulmones, de acuerdo con los requerimientos energéticos del organismo.

### **SABÍAS QUE...**

**El enfisema crónico es una consecuencia frecuente del tabaquismo. Se caracteriza por la pérdida de la capacidad de difusión de gases por los pulmones.**

En los organismos acuáticos el mantenimiento de la superficie húmeda donde se disuelvan los gases respiratorios no ofrece ninguna dificultad, pero ¿cómo se resuelve esta situación en los terrestres?

En los animales terrestres han ocurrido adaptaciones muy diversas que permiten el mantenimiento de la humedad de la membrana permeable, por ejemplo, la mayoría de las áreas de intercambio gaseoso están situadas en el interior del organismo, y en los que el intercambio se realiza por toda la superficie, existen glándulas que secretan sustancias que mantienen la humedad, como por ejemplo el *mucus* en la lombriz de tierra.

### **SABÍAS QUE...**

**La especie *Rythrurus uniteaniatus*, pez que habita en zonas cenagosas de América del Sur presenta una adaptación muy peculiar que posibilita la realización del intercambio de gases en las aguas en que habita. Su vejiga natatoria se ha transformado en pulmón.**

### **SABÍAS QUE...**

**Cuba es uno de los 25 países con menor índice de mortalidad infantil en el mundo, y entre otras causas, se debe al empleo del Surfacén, un surfactante pulmonar natural para el tratamiento de dificultades respiratorias en el recién nacido, que disminuye la tensión superficial en los alvéolos e incrementa la presión parcial del dióxígeno arterial, facilitando así la ventilación. Este producto fue obtenido en el Centro Nacional de Sanidad Agropecuaria (CENSA).**



### Tarea

1. El intercambio de gases es un proceso característico de todos los organismos de respiración aerobia, tengan cubiertas permeables o impermeables. ¿Cómo es posible la realización de este proceso en organismo de cubiertas impermeables? Explica tu respuesta.
2. A continuación se presentan concentraciones hipotéticas de dióxigeno existente en diferentes niveles de una cueva y la que debe existir en el interior de los alvéolos de un mamífero.

Niveles	Aire atmosférico [O <sub>2</sub> ,%]	Aire alveolar [O <sub>2</sub> ,%]
I	20,84	13,6
II	13,6	13,6
III	10	13,6

¿Será posible la vida de estos animales en los tres niveles señalados? Argumenta tu respuesta.

3. En el aula laboratorio se colocaron dos frascos que contienen plantas acuáticas. En el frasco A las plantas fueron cubiertas con una sustancia oleaginosa quedando impermeables sus hojas, mientras que las del frasco B no fueron tratadas con esta sustancia. Al cabo de cierto tiempo las plantas del frasco A murieron. ¿Qué explicación puedes dar a lo ocurrido?
4. Si a una rana platanera se le traslada de su medio ambiente a otro donde existen condiciones de sequía, ¿qué le sucedería? Explica tu respuesta.
5. “La lombriz de tierra es un anélido de vida libre que habita en galerías que construye en suelos húmedos. Posee glándulas que secretan *mucus* que mantienen húmeda la piel, presenta sistema circulatorio cerrado, siendo la sangre el principal líquido circulante”. En el párrafo anterior identifica las adaptaciones estructurales y funcionales que posibilitan la realización del intercambio de gases en estos organismos.
6. Explica, a partir de lo estudiado sobre el intercambio de gases, la importancia de la lucha contra el tabaquismo y la contaminación atmosférica para la salud humana.

### Transporte de gases

El proceso que conduce los gases desde la superficie de intercambio hasta las células y desde estas hasta las superficies se le denomina **transporte de gases**.

En las plantas el transporte de gases se realiza por difusión. Una vez en su interior, es necesario que todas sus células reciban el suministro adecuado de gases en la realización de sus funciones, ya sea la fotosíntesis o la respiración. El transporte de gases por el tejido conductor es muy reducido, estos difunden de una célula a otra por la permeabilidad y humedad de las paredes celulares y por la presión parcial de los gases. En el caso de los animales, el medio de transporte de gases es el agua y varios iones inorgánicos y proteínas, que combinan con el dióxígeno y el dióxido de carbono y los transporta a todas las partes del organismo. Recordemos que entre estas proteínas transportadoras de gases se encuentra la hemoglobina (fig. 90).

### SABÍAS QUE...

Existen otros pigmentos respiratorios como la hemocianina, que contiene cobre y se encuentra en la sangre de moluscos, crustáceos superiores y algunos arácnidos. En anélidos se han descrito otros pigmentos, como las clorocourinas y las hemeritrinas.

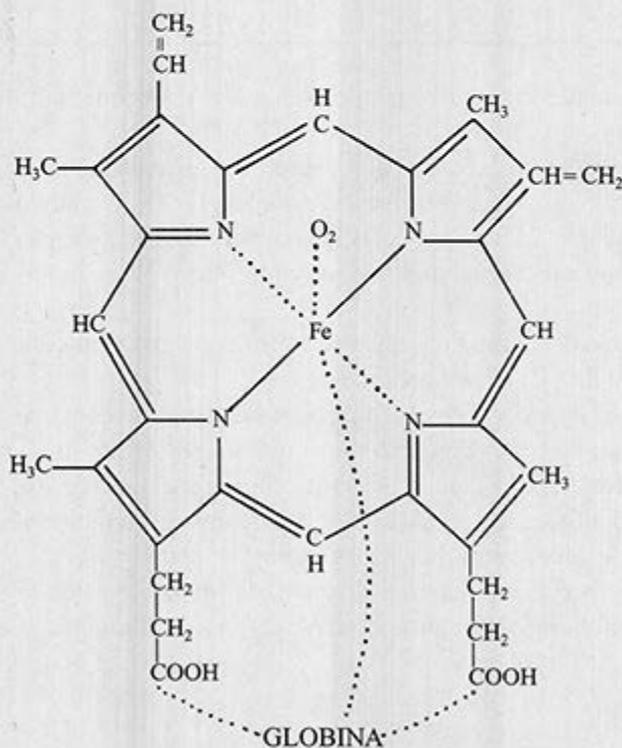
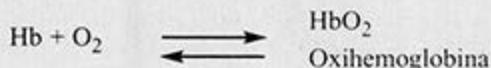


Fig. 90 Subunidad de la molécula de hemoglobina.

En los mamíferos, la hemoglobina (Hb) se encuentra en los glóbulos rojos de la sangre, formada por dos elementos: el hemo, que es la fracción activa y contiene

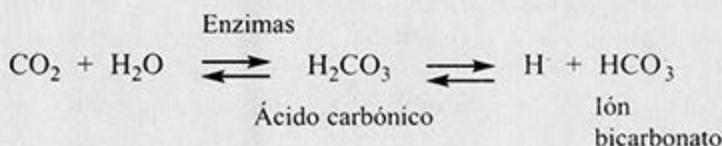
hierro, y cuatro subunidades de globina, proteína que está unida al hemo. La hemoglobina forma una combinación débil con el dióxigeno.



Cuando el dióxigeno se encuentra en abundancia, como en los capilares pulmonares, esta reacción se desplaza hacia la formación de oxihemoglobina ( $\text{HbO}_2$ ), de esta forma es transportada la mayor cantidad de dióxigeno, aunque una pequeña parte se transporta disuelto en el agua del plasma sanguíneo.

Al llegar dióxigeno a los tejidos la presión parcial de este es menor en relación con la existente en la sangre, la oxihemoglobina deja libre el dióxigeno pasando este a los tejidos, y se forma la hemoglobina libre. Cuando el dióxigeno llega a la célula es utilizado en el metabolismo celular.

Del dióxido de carbono que se produce como producto final de la respiración en los tejidos, una parte se disuelve en el agua del plasma; otra se combina con la hemoglobina y es transportada a los pulmones en forma de carbaminohemoglobina ( $\text{HbCO}_2$ ), pero la mayor parte reacciona químicamente con el agua de los glóbulos rojos y forma ácido carbónico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ), el que se ioniza y forma el ión bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) que pasa al plasma, y de esta forma es transportado a los pulmones.



Generalmente cuando el ión bicarbonato llega a los pulmones, por la acción de una enzima, se forma rápidamente dióxido de carbono libre, el que llega a los alvéolos y difunde a través de sus membranas al exterior.

La hemoglobina, además tiene función amortiguadora al combinarse con el ión hidrógeno regulando el pH de la sangre.

En el ejemplo analizado hemos visto que la sangre es la encargada de transportar los gases respiratorios hasta la célula, permitiendo así la realización del intercambio gaseoso.

### SABÍAS QUE...

La fórmula global de la hemoglobina es:  $\text{C}_{3032} \text{H}_{4816} \text{O}_{870} \text{S}_8 \text{Fe}$ . Algunas personas padecen de anemia por déficit de hemoglobina, debido a que no tienen hábitos nutricionales adecuados, pues no se alimentan de suficientes verduras que le aporten las vitaminas y las sales de hierro necesarias en la síntesis de esta molécula.



### **Tarea**

1. ¿En qué consiste el transporte de gases y cómo se relaciona este proceso con la ventilación y el intercambio de gases?
2. ¿Qué importancia tiene en las plantas la existencia de abundantes espacios intercelulares en las hojas y la humedad y permeabilidad de las paredes celulares? Explica.
3. Expresa los procesos previos que hacen posible la respiración celular. ¿Qué ocurre si se afecta uno de ellos? Explica tu respuesta.
4. ¿Qué consecuencias traería en la respiración celular la disminución de hemoglobina en el organismo. Explica y propón medidas para evitarla.

### **Regulación de la ventilación**

Las necesidades de  $O_2$  en los animales varían de acuerdo con los requerimientos metabólicos y con la actividad que realicen, por lo que la frecuencia e intensidad de los movimientos ventilatorios deben ajustarse a las condiciones existentes. Por ejemplo, durante la realización de un ejercicio físico, aumenta la frecuencia y profundidad de la ventilación, lo que satisface las necesidades crecientes de dióxigeno y la expulsión de dióxido de carbono.

Estos cambios son regulados por el sistema nervioso, que elabora las respuestas adecuadas. Los centros nerviosos que regulan los movimientos ventilatorios están situados, fundamentalmente, en el bulbo raquídeo. Estos centros nerviosos realizan un control automático, pero pueden estar subordinados al control realizado por determinadas zonas de la corteza cerebral. Existen factores químicos que contribuyen a la regulación, como son la presión parcial del  $CO_2$  y del  $O_2$ , y la concentración de iones  $H^+$  en la sangre.

Otros mecanismos de regulación resultan de gran importancia para mantener el buen funcionamiento de las estructuras de intercambio de gases y de ventilación. Por ejemplo, en la faringe y la laringe existen receptores en su revestimiento; si un gas irritante, como los humos amoniacales o gases corrosivos penetran por estas vías, estimula a los receptores, esto ocasiona que el centro nervioso inhiba la inspiración, lo que se conoce con el nombre vulgar de "cortar la respiración". De esta forma se evita que una sustancia nociva continúe penetrando a los pulmones. Este ejemplo nos demuestra la importancia que tiene el evitar la contaminación atmosférica, ya que esta es un factor de riesgo para la salud humana y del resto de los seres vivos.

Existen otros ejemplos que evidencian la regulación nerviosa de la ventilación, pero en general, debemos recordar que todos permiten mantener las presiones parciales de dióxigeno y dióxido de carbono, lo que contribuye a un adecuado intercambio de gases.



### **Tarea**

1. Al penetrar en un laboratorio cerrado y notamos un fuerte olor a gas, inmediatamente sentimos una sensación de asfixia que nos impide respirar. Considera que esta sensación de asfixia sea favorable o perjudicial en el organismo. Explica tu respuesta.
2. Utiliza la bibliografía existente en la biblioteca escolar y elabora un ejemplo donde se ponga de manifiesto la regulación nerviosa de la ventilación.
3. Explica en el ejemplo de la pregunta anterior, la importancia de este mecanismo de regulación en la integridad biológica del organismo.

### **Excreción**

En capítulos anteriores hemos estudiado el metabolismo como un proceso inherente a la materia viva. Producto de las reacciones químicas que se realizan en este proceso, además de la síntesis de nuevos compuestos y de la liberación de energía, se producen sustancias de desecho que son expulsadas al exterior porque son sustancias tóxicas que si permanecen en el organismo pueden causarle la muerte.

La **excreción** es la separación y eliminación de las sustancias de desecho del metabolismo y de sustancias que se encuentran en exceso en el organismo, lo que contribuye a mantener la estabilidad del medio interno. Esta función se realiza en todos los organismos, independientemente del nivel de complejidad que presenten, como las móneras, los protistas, las plantas, los animales y el organismo humano, ¿cómo ocurre el proceso de excreción en organismos tan diferentes?

### **Mecanismos de excreción en los organismos**

Los protistas, al igual que las móneras, los hongos, las esponjas y los celenterados, no presentan órganos excretores especializados, por lo que eliminan las sustancias de desecho del metabolismo celular a través de las membranas citoplasmáticas y mediante vacuolas contráctiles fundamentalmente (fig. 91).

La excreción de sustancias de desecho a través de las membranas citoplasmáticas ocurre por mecanismos de transporte pasivo y activo en dependencia de la concentración de las sustancias.

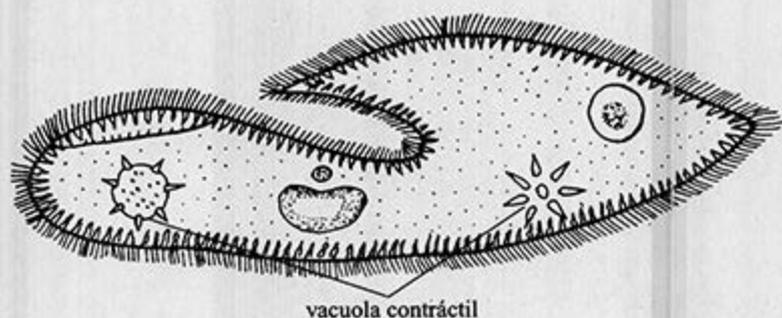


Fig. 91 Vacuola contráctil en un paramecio.

### SABÍAS QUE...

**La membrana citoplasmática y la vacuola contráctil contribuyen, además, a la excreción de amoníaco y de algunos iones.**

Las plantas presentan características particulares en cuanto a la excreción de sustancias. A menudo resulta difícil precisar si una sustancia determinada es de excreción o de secreción.

Existen sustancias, que resultan producto del metabolismo, que constituyen desechos ya que no proporcionan ningún provecho para la planta y hablamos de excreción, pero si se trata de sustancias que pueden desempeñar una función determinada, entonces debemos hablar de secreción. Como ejemplo de sustancias secretadas están el látex, de gran utilidad en la cicatrización de heridas y las resinas que atraen a los insectos y otros animales polinizadores.

### SABÍAS QUE...

Existen plantas xerófitas, como, por ejemplo, el lirio de costa y el croton de costa, que eliminan sustancias de excreción mediante las hojas, en forma de amoníaco, lo que hace que la atmósfera que las rodea se impregne de un olor característico a esta sustancia. Eso constituye una adaptación, ya que la atmósfera enrarecida impide la pérdida de agua por los estomas de las hojas.

Las plantas eliminan las sustancias de excreción de forma muy peculiar. Como hemos observado, en medio del follaje verde se encuentran hojas que van perdiendo la coloración verde y se tornan amarillas y a veces rojas. Antes de la caída de estas hojas

se almacenan en ellas las sustancias de excreción y las que les pueden ser útiles, las recupera. Un ejemplo es la planta de almendra, que presenta hojas rojas y después amarillas, antes de que se caigan.

Los productos de excreción pueden también almacenarse como cristales en el interior de la célula, que se presentan en forma de agujas, romboidales o prismáticas, lo que podemos observar en un corte de células epidérmicas de la cebolla, el cordobán y otros. Los cristales pueden ser de oxalato de calcio, por ejemplo.

En los animales de mayor grado de complejidad en su organización, los procesos de transporte pasivo y activo no son suficientes en la eliminación de las sustancias de desecho como consecuencia del metabolismo celular, debido a que su actividad metabólica es más intensa, por lo que, la cantidad de sustancias a excretar es mayor.

En estos animales se han desarrollado diferentes estructuras excretoras especializadas, como son los nefridios, los túbulos de Malpighi y las nefronas (fig. 92).

Los *nefridios* son órganos excretores característicos de muchas especies de invertebrados como los platelmintos, los anélidos, los moluscos y los crustáceos; los *túbulos de Malpighi* se encuentran presentes en muchos artrópodos terrestres. Las *nefronas* se hallan en los vertebrados.

#### SABÍAS QUE...

**Los túbulos de Malpighi reciben esa denominación debido a que el eminentemente médico italiano Marcelo Malpighi (1628-1694), al examinar los tejidos de los riñones, describió estructuras que hoy llevan su nombre.**

En estas estructuras la excreción se efectúa mediante tres procesos: la filtración, la reabsorción y la secreción.

La **filtración** es el proceso mediante el cual muchas sustancias disueltas en los líquidos circulantes (fluidos corporales), pasan a través de membranas hacia el interior de las estructuras excretoras. Mediante la **reabsorción** se reincorporan, a los líquidos corporales, sustancias necesarias al organismo que fueron filtradas y que se encuentran en el interior de las estructuras excretoras. Por el proceso de **secreción**, *las sustancias de desecho que no fueron filtradas y que están en exceso en el organismo, pasan desde los líquidos corporales hacia el interior de las estructuras excretoras, desde donde son eliminadas hacia el exterior junto con las sustancias que fueron filtradas y no reabsorbidas.*

De acuerdo con la complejidad de los diferentes grupos de animales, ocurren todos los procesos antes mencionados o solamente algunos de ellos. Por ejemplo, en la lombriz de tierra solo ocurre filtración y reabsorción; en los insectos, al igual que en los vertebrados y en particular en el organismo humano, ocurren los tres procesos, cada uno con sus particularidades, según las características del organismo y su hábitat.

En los mamíferos, y especialmente en el ser humano, la excreción se efectúa a través de diferentes estructuras especializadas que constituyen un complejo sistema: el excretor, formado por el sistema renal y por otros órganos excretores.

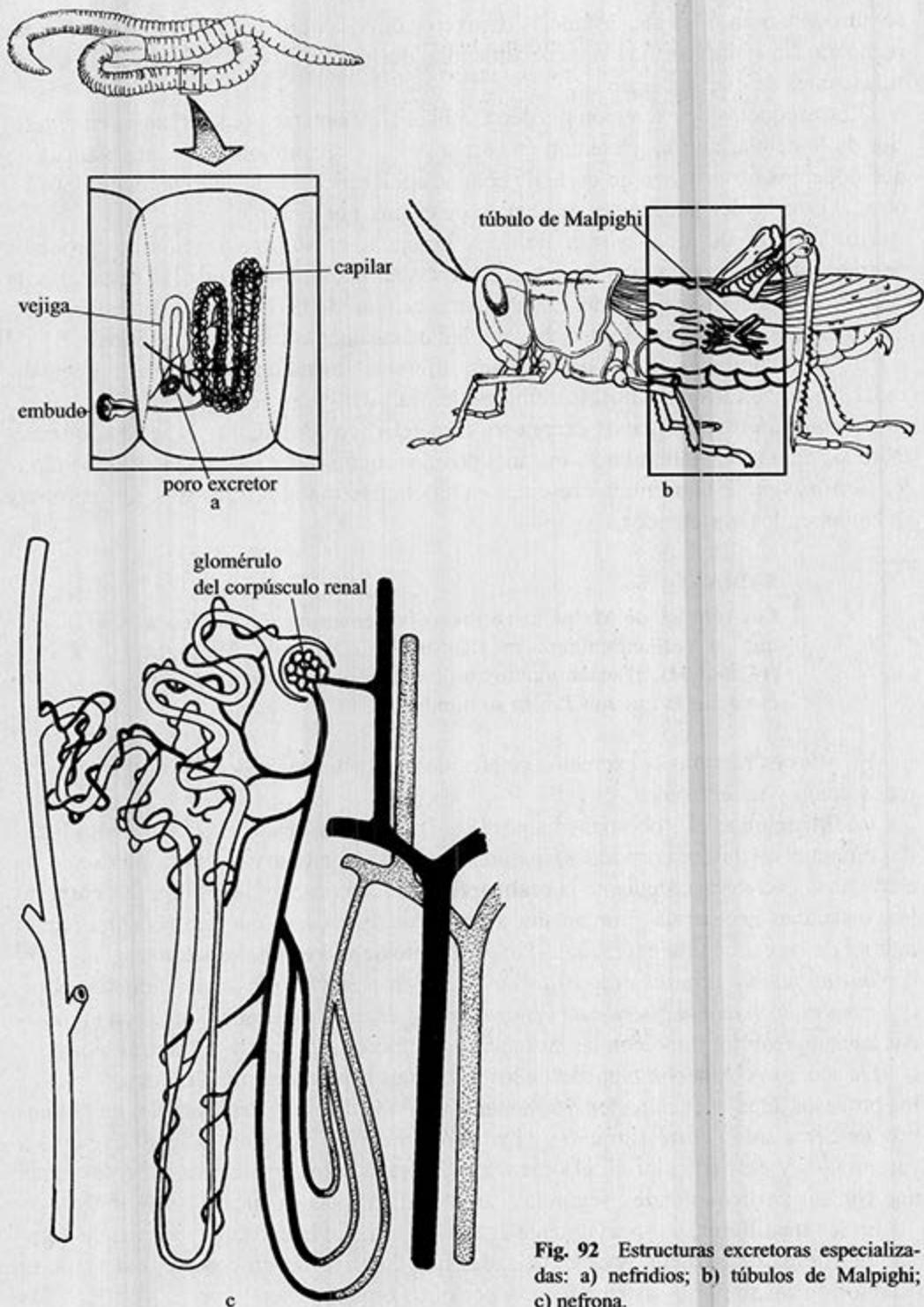


Fig. 92 Estructuras excretoras especializadas: a) nefridios; b) túbulos de Malpighi; c) nefrona.

### SABÍAS QUE...

El exoesqueleto de algunos insectos constituye una vía de excreción, puesto que las sustancias nitrogenadas depositadas en él se eliminan cuando el animal muda.

En el organismo humano el sistema renal está constituido por: los dos riñones, los uréteres, la vejiga urinaria y la uretra (fig. 93). Los riñones constituyen las estructuras más importantes del sistema excretor. En la figura 94 se puede observar la estructura interna del riñón en un corte longitudinal.

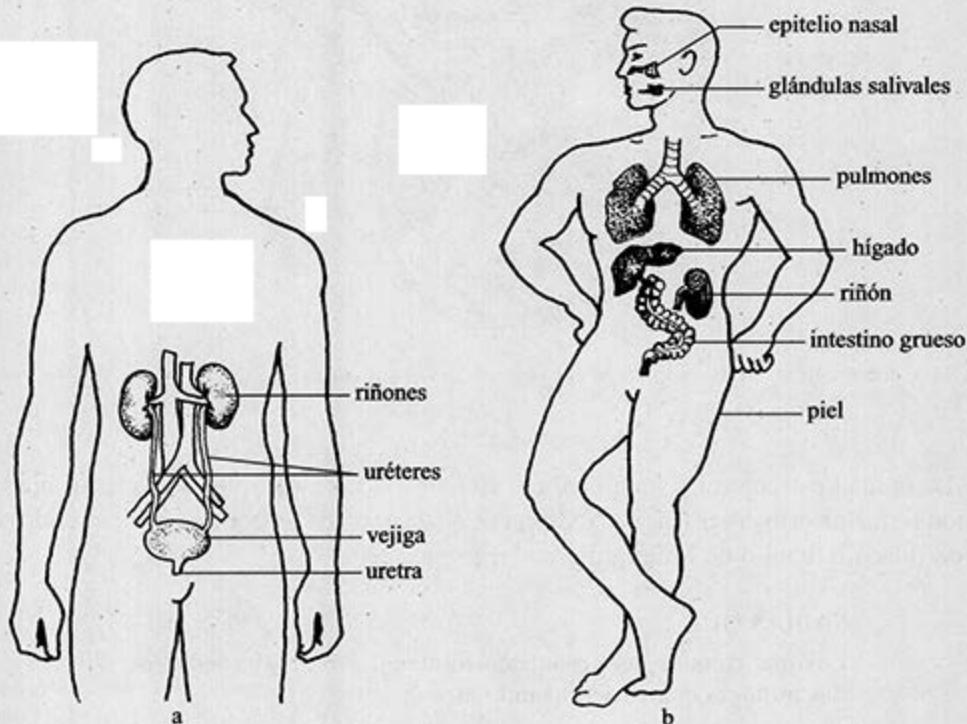


Fig. 93 Sistema excretor en el organismo humano: a) sistema renal; b) otros órganos excretores.

### SABÍAS QUE...

Por el intestino grueso, y junto con las heces fecales, se eliminan productos de desecho del metabolismo de las células hepáticas como la bilirrubina, y mediante el sudor se eliminan agua e iones según las necesidades del organismo.

### SABÍAS QUE...

El sudor contiene los mismos componentes de la orina, por ejemplo, sales, urea y otros compuestos orgánicos, pero en concentraciones más bajas.

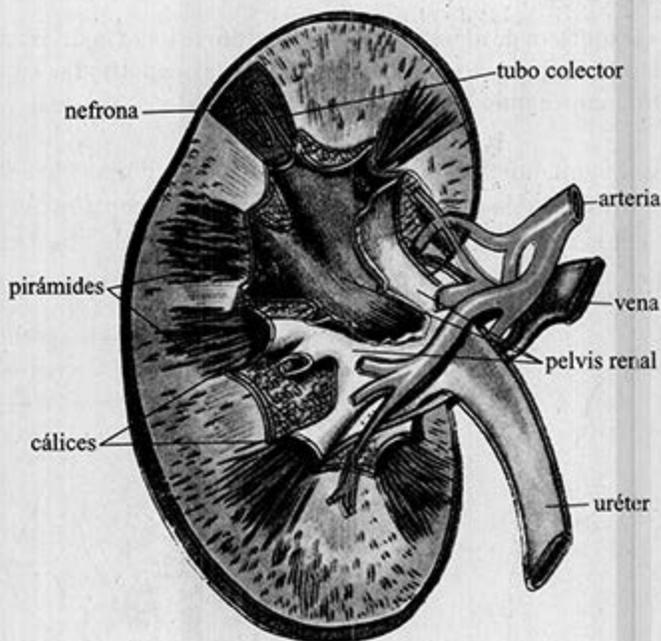


Fig. 94 Corte longitudinal de un riñón en el que se observan sus partes.

La unidad estructural y funcional del riñón es la nefrona, que es la menor unidad donde se forma orina (ver fig. 92c). Como se observa, cada nefrona está constituida por un corpúsculo renal o de Malpighi y un largo tubo renal.

#### SABÍAS QUE...

Los dos riñones del organismo humano, suman alrededor de dos millones cuatrocientos mil nefronas.

El *corpúsculo renal* está formado por una aglomeración de capilares sanguíneos denominada glomérulo, incluido en una cápsula, la cual presenta una doble pared y el *tubo renal* tiene la pared muy delgada, constituida por una sola capa de células epiteliales y es muy permeable.

#### SABÍAS QUE...

El glomérulo está constituido por los capilares que se forman a partir de una arteriola aferente. Los capilares glomerulares se unen formando una arteriola eferente que sale del corpúsculo renal y luego se ramifica alrededor del tubo renal, dando lugar a una red de capilares peritubulares.

## ¿Cómo se forma la orina en el organismo humano y en otros mamíferos?

Al igual que en otros organismos estudiados, la orina se forma mediante los procesos de filtración, reabsorción y secreción.

La filtración ocurre cuando, al circular la sangre por los capilares glomerulares, estos dejan pasar a la cápsula diferentes sustancias como: urea, creatinina, agua, iones, sales, glucosa y algunos aminoácidos, entre otras. Este filtrado se denomina *orina inicial* o *capsular*, la cual, como podemos apreciar, no solo está formada por sustancias de excreción sino también por sustancias útiles al organismo.

La orina inicial pasa al tubo renal donde ocurren los procesos de reabsorción y de secreción. Mediante la reabsorción las sustancias útiles al organismo pasan desde el tubo renal hacia la sangre que circula por la red de capilares, y se reintegran de nuevo al plasma sanguíneo. Se reabsorben agua, glucosa, aminoácidos y electrolitos.

### SABÍAS QUE...

En el organismo humano, entre los dos riñones, filtran diariamente 180 L de plasma sanguíneo, de los cuales el 99 % se reabsorbe en los tubos renales y el resto pasa a formar parte de la orina.

Mediante la secreción las sustancias que se encuentran en exceso en el organismo y las que, por su volumen, no fueron filtradas, pasan desde los capilares hacia el tubo renal. Se secretan iones de  $K^+$  y de  $H^+$  y sustancias como colorantes y antibióticos.

Los procesos de reabsorción y de secreción tubular se efectúan por diferentes mecanismos de transporte. Por los dos últimos procesos descritos, la orina inicial es transformada en *orina final* o *verdadera*, compuesta por agua, urea, creatinina, ácido úrico e iones de  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$  y  $Mg^{2+}$ .

La orina es conducida por los uréteres desde los riñones hasta la vejiga urinaria, donde es almacenada temporalmente y luego es expulsada al exterior a través de la uretra, lo cual ocurre por un mecanismo reflejo denominado *micción*.

### SABÍAS QUE...

La vejiga urinaria puede almacenar una cantidad máxima de orina que oscila entre 500 y 700 mL.

### SABÍAS QUE...

En los niños menores de dos años el reflejo de la micción es incondicionado; como consecuencia de la educación que reciben de la familia se logra un aprendizaje, por lo que, aproximadamente a partir de los dos años este reflejo se va transformando en un reflejo condicionado. Finalmente, en personas de la tercera edad, este reflejo puede transformarse nuevamente en incondicionado.

En todos los organismos, independientemente del nivel de complejidad alcanzado, se realiza la función excretora, la cual contribuye a mantener la homeostasia mediante diferentes procesos y permite la adaptación de estos al medio.

### **SABÍAS QUE...**

En nuestro país, los pacientes aquejados de trastornos renales son atendidos de forma preferencial aplicándoseles, gratuitamente, tratamiento de diálisis\* sistemáticas. Además, cuando es necesario, se realizan trasplantes de riñón, operación que en los países capitalistas cuesta miles de dólares.



### **Tarea**

1. "El proceso de excreción es característico de todos los organismos aunque carezcan de estructuras excretoras especializadas". Argumenta esta afirmación mediante tres ejemplos de organismos pertenecientes a diferentes reinos.
2. En los animales de mayor grado de complejidad, la eliminación de sustancias de desecho se realiza a través de estructuras especializadas. Argumenta y ejemplifica teniendo en cuenta las diferentes estructuras excretoras que presentan los organismos pertenecientes a este reino.
3. Argumenta la afirmación siguiente: "Sin la realización de la reabsorción que se efectúa en los tubos renales se alteraría la homeostasia en los organismos".
4. ¿Qué importancia tiene para el organismo humano, el hecho de que la composición de la orina inicial y de la orina final no sea igual? Explica tu respuesta teniendo en cuenta los procesos que determinan que eso ocurra.
5. Una persona presenta una insuficiencia renal crónica, por lo que deben realizarle diálisis sistemáticamente. Argumente por que resulta indispensable aplicar este tratamiento.

### **Función reguladora de los riñones**

El desarrollo de mecanismos que permiten la retención de agua en los organismos, constituye una de las adaptaciones más importantes en la conquista de diversos hábitats, esencialmente en los ambientes secos.

El equilibrio hídrico en muchos organismos se logra en parte por el funcionamiento de los riñones. Anteriormente estudiamos cómo en la nefrona, mediante la realización de los procesos de filtración, reabsorción y secreción se forma la orina, la cual constituye una de las vías fundamentales de eliminación de las sustancias de desecho del metabolismo.

¿El volumen y la concentración de la orina que eliminamos es siempre igual?

Una de las funciones más importantes de los riñones es controlar este proceso, por ejemplo, cuando la cantidad de agua corporal es poca, se reabsorben grandes cantidades de agua a lo largo de los tubos renales y disminuye su excreción por la orina, lo que hace que esta sea poca y concentrada. En cambio, cuando en los líquidos del cuerpo existen grandes cantidades de agua, esta no se reabsorbe a lo largo de los tubos renales, lo que hace que la orina sea abundante y diluida.

El aumento de la permeabilidad de los tubos renales al agua está controlado por la hormona antidiurética (ADH).

Otra de las funciones fundamentales de los riñones es la regulación del pH o del equilibrio ácido-básico en el organismo. Cuando ocurren cambios del pH, se producen alteraciones en la intensidad de las reacciones químicas celulares, algunas se inhiben y otras se aceleran, afectándose la actividad metabólica. Por esta razón, la regulación del pH es uno de los aspectos más importantes de la homeostasia.

El pH del medio interno del organismo humano es regulado por diferentes sistemas, por ejemplo, por la hemoglobina de los glóbulos rojos, por el sistema respiratorio y por los riñones. Estos últimos constituyen el más poderoso de todos los sistemas reguladores del pH.

Cuando la concentración de iones hidronio ( $H^+$ ) se aleja de la normal, los riñones excretan orina ácida o alcalina, según el caso, con lo cual se reajusta la concentración de estos iones en los líquidos corporales.

Si la concentración de iones  $H^+$  aumenta por encima de los valores normales, el organismo se encuentra en un estado de acidosis y, si por el contrario, disminuye por debajo de los valores normales, se encuentra en un estado de alcalosis.

#### **SABÍAS QUE...**

**El pH normal de la sangre oscila entre 7,35 en las venas y 7,4 en las arterias. Si el pH desciende por debajo de 7 o aumenta por encima de 8, causa la muerte en las personas.**

#### **SABÍAS QUE...**

**Además de la regulación hídrica y del pH, los riñones intervienen en la regulación de la presión arterial, del volumen sanguíneo y del gasto cardíaco.\***



### **Tarea**

1. ¿Por qué son tan importantes los riñones en relación con la homeostasia, en los animales superiores?
2. Argumenta la afirmación siguiente: "La ADH, neurohormona producida por el hipotálamo y almacenada en la neurohipófisis, es importante en el funcionamiento de los riñones".
3. ¿Por qué es tan importante para la salud el consumo de cantidades adecuadas de líquido?

### **Regulación de las funciones vegetativas**

En este capítulo hemos estudiado las funciones vegetativas en los organismos, que permiten la integridad biológica y, además, cómo estas son reguladas por diferentes mecanismos.

¿Cómo se demuestra que todas ellas tienen una importante función y que si una se afecta, se verá alterado el funcionamiento del organismo como un todo?

Cuando un individuo realiza una actividad física como subir escaleras, correr, practicar un deporte, montar bicicleta u otra que requiera un mayor esfuerzo físico, se incrementan todas las funciones, ya que los músculos están realizando un trabajo mayor y requieren cantidades superiores de dioxígeno y sustancias nutritivas como la glucosa.

Mediante los alimentos que ingerimos podemos incorporar al organismo la glucosa necesaria a las células musculares. ¿Qué sucedería si disminuyeran los niveles de glucosa en la sangre como consecuencia de un consumo elevado por parte de las células musculares?

Como sabemos, mediante el control endocrino se regula el funcionamiento de diferentes glándulas por mecanismos de retroalimentación. En este caso el páncreas aumenta la secreción de glucagón, lo que contribuye al aumento de la concentración de glucosa en la sangre.

También podemos preguntarnos cómo el organismo responde ante el déficit de dioxígeno que se presenta cuando hay una actividad muscular intensa. Se ha observado que aumenta la frecuencia ventilatoria, lo que favorece la entrada de  $O_2$ , y con ello, la posibilidad de un activo proceso de degradación de sustancias en las células.

las con la consecuente liberación de energía. Todas estas sustancias son transportadas a los diferentes lugares del organismo mediante la sangre por la circulación sanguínea.

Es importante destacar que el flujo sanguíneo se incrementa como consecuencia de la actividad celular, haciéndose más intenso en aquellos lugares donde la demanda es superior. Además, se produce un aumento de la frecuencia cardíaca.

Sin embargo, tan necesario es el suministro del  $O_2$  y de las sustancias nutritivas como la eliminación de las sustancias de desecho. Mediante el sudor el individuo expulsa una gran cantidad de desechos del metabolismo y mantiene una temperatura adecuada al eliminar el exceso de calor que dañaría al organismo.

### **SABÍAS QUE...**

Los atletas cubanos realizan entrenamiento "en la altura", en Ciudad México, en el cual los mecanismos de regulación permiten lograr una forma física óptima. En esa ciudad la concentración de dióxígeno en la atmósfera es menor debido a la altura sobre el nivel del mar, en el individuo se incrementa la cantidad de glóbulos rojos, lo que permite un mayor transporte del  $O_2$  hacia los tejidos, de modo que los músculos pueden realizar una mayor carga física sin sentir el agotamiento.

Además de todo lo anteriormente planteado, es importante recordar la participación del sistema nervioso en la regulación de cada una de las distintas funciones, ya que este sistema inerva todas las estructuras del organismo.



### **Tarea**

1. Un atleta sufre una afectación en un vaso sanguíneo importante de una de sus extremidades inferiores. ¿Qué consecuencias le traería esta situación?
2. ¿Por qué se plantea que durante la realización de una actividad que requiera mayor esfuerzo físico se activan todas las funciones del organismo?
3. ¿Qué relación podemos establecer entre el metabolismo a nivel de organismo y el metabolismo celular?



## ***Comprobación del transporte de sustancias en las plantas***

### ***Materiales:***

Planta de vicaria o de madama de flores blancas o amarillas, portaobjetos, cubreobjetos, gotero, beacker, bisturí o cuchilla, pinzas, aguja enmangada, papel de filtro, lápices de colores, rojo aseptic al 2 % u otro colorante, lugol o yodo al 1 %, microscopio óptico.

### ***Técnica operatoria:***

Observa la planta colocada en rojo aseptic u otro colorante que te mostrará el profesor. Esta experiencia la realizaste en grados anteriores, por lo que analiza inicialmente con tus compañeros lo siguiente:

- ¿A qué se debe el color que se observa en las flores y en las hojas?
- ¿Cómo podrías confirmar la relación que tiene el tejido conductor con lo observado en la planta?
- ¿Cómo podrías comprobar el transporte por el tejido conductor de las sustancias elaboradas en las hojas de esta planta?

Auxíliate en tus respuestas de lo realizado en la actividad “Observación de organismos unicelulares y pluricelulares”.

Además, apóyate en los resultados que obtengas al realizar los pasos siguientes:

1. Coloca una gota de agua en un portaobjetos.
2. Realiza un corte longitudinal del tallo de la planta, en la misma forma que se indicó en prácticas anteriores.
3. Traslada la muestra al portaobjetos. Extiéndela con ayuda de la aguja enmangada.
4. Coloca el cubreobjeto, elimina las burbujas de aire y seca la preparación.
5. Observa al microscopio. Localiza el tejido conductor, auxíliate de la figura 29. Identifica los vasos coloreados por el colorante. Basado en esta observación, amplía tus respuestas a las dos primeras preguntas de esta actividad. Analiza con tus compañeros.
6. Realiza el dibujo de lo observado.
7. Separa la preparación de la platina y levanta con cuidado el cubreobjeto, auxíliate de la aguja enmangada. Deja caer sobre la muestra una o dos gotas de lugol y cúbreala.

8. Observa al microscopio. Localiza los granos de almidón. ¿Estás en condiciones de responder totalmente la tercera pregunta planteada al inicio? Analiza con tus compañeros.
9. Dibuja lo observado.
10. Analiza con tus compañeros y el profesor los posibles errores cometidos, compáralo con los cometidos en la actividad práctica "Observación de organismos unicelulares y pluricelulares".

#### Conclusiones:

- ¿A qué conclusiones puedes llegar después de lo realizado en los pasos 5 y 8? Fundamenta tu respuesta.
- Teniendo en cuenta lo observado, propón un modelo que te permita explicar el transporte de las sustancias en las plantas. Valóralo con tus compañeros y el profesor.
- En varias actividades se han utilizado colorantes, ¿qué importancia tiene su empleo para los estudios microscópicos del material biológico?

#### Observación de la circulación en animales

##### Materiales:

Peces del acuario (*guppy* u otros de colores claros) o guajacón, jamo, pinzas, cápsulas Petri, beacker, lápices de colores, algodón, microscopio óptico.

##### Técnica operatoria:

1. Moja un pedazo de algodón.
2. Extrae un pez del acuario y envuélvelo en el algodón, de modo tal que solo quede descubierta la aleta caudal, limitando así sus movimientos (fig. 95).



Fig. 95 Forma en que se coloca el algodón en el pez para ser observado.

3. Sitúa al pez lateralmente sobre la cápsula Petri y trasládala al microscopio.
4. Observa con el menor aumento (no más de 100 x), la zona central de la aleta caudal. Si se produce algún movimiento de esta, presiona suavemente con la pinza. Disminuye la iluminación con el diafragma.

5. Identifica y describe la circulación de la sangre. Realiza el dibujo, representa con flechas lo observado. Si no distinguieras el movimiento de la sangre, desplaza la preparación recorriendo toda la muestra.
6. Una vez concluida la actividad, introduce nuevamente el pez en el acuario.
7. Si se hubiera humedecido alguna parte del microscopio, sécala.

#### *Conclusiones:*

- ¿Qué importancia tiene lo observado en esta actividad en la vida de los animales?
- ¿En todos los organismos la circulación de sustancias ocurre de la misma forma en que la apreciaste en el pez? Explica a través de ejemplos.
- Propón un modelo que te permita explicar la circulación en los animales. Valóralo con tus compañeros y el profesor.
- ¿Por qué en el paso 4 se indicó no utilizar más de 100 x de aumento? Valora qué utilidad tiene esta recomendación en la manipulación del microscopio óptico.

#### *Comprobación de la regulación de las funciones vegetativas durante el ejercicio físico*

##### *Materiales:*

Cinta métrica, regla graduada, lápices de colores.

##### *Técnica operatoria:*

En esta actividad, al igual que en la referente a la “Observación de las diferentes respuestas reflejas en el hombre”, es necesario que experimentes y llegues a conclusiones con tus propios compañeros de equipo.

Lee atentamente las orientaciones antes de comenzar, recuerda planificar previamente la forma en que trabajarán en el colectivo, es decir, qué tarea realizará cada compañero.

“En el organismo las funciones vegetativas nutrición, transporte, respiración y excreción están interrelacionadas y se regulan durante la actividad que este realiza”. Teniendo en cuenta lo que estudiaste en otros grados, ¿cómo podrías demostrar experimentalmente el planteamiento anterior? Analízalo con tus compañeros y elabora un proyecto que debes valorar con tu profesor. Posteriormente, ejecuta los pasos que se plantean a continuación, los cuales seguramente confirmarán el proyecto elaborado.

1. Inicialmente los equipos deben estar conformados por compañeros de ambos sexos, los que estarán sentados sin realizar ningún tipo de ejercicio físico.
2. Observa la piel de cada integrante del equipo, ¿se aprecia sudación? Anota los resultados.
3. Toma el pulso a diferentes compañeros durante 1 min. Anota los resultados. Recuerda que esta operación tiene éxito si tomas la mano del compañero y la colocas con la

palma hacia arriba y en esta posición presionas suavemente con los dedos índice y del medio en la muñeca de este, hasta que aprecies las contracciones alternas, este es el pulso arterial\* (fig. 96).



Fig. 96 Esquema que representa la forma correcta de tomar el pulso.

Si tuvieras dificultad para detectar el pulso arterial en la muñeca, puedes presionar suavemente con los mismos dedos en la región centrolateral del cuello (fig. 97).



Fig. 97 Esquema que representa cómo tomar las pulsaciones en el cuello.

4. Repite el paso anterior, pero inmediatamente después que los compañeros hayan saltado en el lugar durante 2 min. Déjalos que reposen un tiempo igual al anterior y toma nuevamente el pulso. Anota en todos los casos los resultados.
5. Confecciona una tabla con los resultados obtenidos en los pasos 3 y 4, que contenga la información siguiente: sexo, pulsaciones en reposo, pulsaciones inmediatamente después del ejercicio, pulsaciones a los dos minutos de terminado el ejercicio.
6. Determina el número de inspiraciones de tus compañeros en reposo durante 1 min. Rodea con una cinta métrica el tórax de estos y mide a cada uno la circunferencia del tórax (fig. 98).

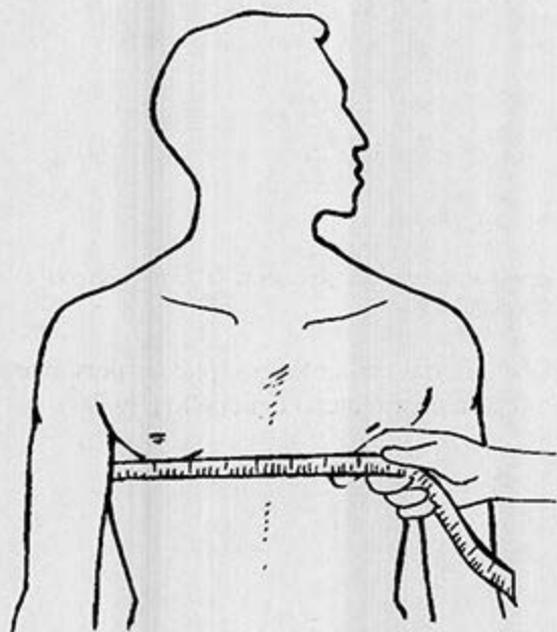


Fig. 98 Esquema que representa la forma de medir la circunferencia del tórax.

7. Repite el paso anterior, pero en este caso, toma dos mediciones, la primera inmediatamente después de que los compañeros hayan saltado durante otros 2 min en el lugar, y la otra, a los 2 min de estar nuevamente en reposo. Anota los resultados.
8. Confecciona una tabla con los resultados de los pasos 6 y 7, que contenga los datos siguientes: sexo, número de inspiraciones en reposo, medida circular del tórax en reposo, número de inspiraciones después del ejercicio, medida circular del tórax después del ejercicio, número de inspiraciones a los 2 min después del ejercicio y medida circular del tórax pasado este tiempo.
9. Procede en la forma que se indicó en el paso número 2 con los compañeros que realizaron el ejercicio físico. Compara ambos resultados.

### Conclusiones:

- Confecciona un gráfico de barras, por sexos, donde se señalen los datos recogidos en la tabla confeccionada en el paso 5. Determina el promedio de pulsaciones por sexo y del equipo en reposo, después del ejercicio y después de 2 min de finalizado el ejercicio. ¿A qué conclusiones puedes llegar?
- Confecciona gráficos de barras en los que compares por sexo, los datos recogidos en la tabla confeccionada en el paso 8. Determina el promedio de inspiraciones y de la medida circular del tórax en reposo, después del ejercicio y después de 2 min de finalizado el ejercicio. ¿A qué conclusiones puedes llegar?
- Relaciona las dos conclusiones anteriores con la comparación realizada en el paso 9, ¿estarías en condiciones de argumentar el planteamiento inicial? Analízalo colectivamente, auxíliate de las gráficas elaboradas o construye otras que consideres necesarias.
- Si el ejercicio que se realizara fuera muy superior al indicado en los pasos 4 y 7, ¿qué podría ocurrir con la concentración de glucosa en la sangre? Plantea una explicación que dé respuesta a esta problemática y elabora un modelo que represente este mecanismo.

## REPRODUCCIÓN

La función de **reproducción** permite la conservación de cada especie en el tiempo y el espacio, como resultado de la multiplicación del número de sus individuos y posibilita la transmisión de las características hereditarias de generación en generación. Esta función asegura la multiplicación de los organismos y, por tanto, que se sustituyan los que mueren a consecuencia del normal proceso de envejecimiento, de la falta de alimentos o víctimas de los predadores, entre otras causas. A partir de la reproducción se produce el desarrollo individual de los organismos que se inicia con el **desarrollo embrionario**; este es un conjunto de transformaciones que ocurren en el organismo en formación, como el aumento del número de células, la diferenciación celular y la formación de los tejidos, órganos y sistemas de órganos especializados en realizar las diversas funciones.

A causa del proceso evolutivo se desarrollaron dos tipos fundamentales de reproducción: *asexual* y *sexual*; estas presentan una gran diversidad de formas, las que se fueron estableciendo en el proceso evolutivo en dependencia de las condiciones de vida de los organismos. Una de las formas de reproducción de muchos de ellos es la *reproducción por esporas*, las que en dependencia de su origen, por mitosis o meiosis, participan en mecanismos de reproducción asexual o sexual, respectivamente.

La reproducción asexual y sexual no son excluyentes. Algunos organismos, como los hongos, muchas plantas y algunos animales, como los celenterados, los moluscos y los platelmintos, presentan ambos tipos de reproducción. En este capítulo estudiaremos estas formas de reproducción y profundizaremos en sus características y ventajas adaptativas. Para ello, iniciaremos este análisis recordando las características de la división celular por mitosis y meiosis y su importancia en la reproducción de los organismos.

### La división celular por mitosis y meiosis como base de la reproducción de los organismos

La división celular es un proceso de gran importancia en la reproducción de los seres vivos, así como en su crecimiento y desarrollo. La mitosis y la meiosis constituyen la base de la reproducción de los organismos.

Ya estudiamos que la *mitosis* ocurre en los organismos unicelulares eucariotas y en las células somáticas de los organismos pluricelulares. Como resultado de este proceso se obtienen dos células hijas en cada división, que poseen el mismo número de cromosomas e información genética que la célula progenitora, de ahí que sean morfológi-

camente iguales entre sí y a la que le dio origen. En consecuencia, *la mitosis constituye la base de la reproducción asexual de muchos organismos unicelulares, como los protistas y algunas algas y hongos unicelulares y de muchos organismos pluricelulares.* En el caso de algunos de estos últimos organismos, la mitosis tiene como resultado la formación de esporas que participan en la reproducción.

Por otro lado, recordemos que la *meiosis* se produce, fundamentalmente, en las células diploides germinales que dan origen a los gametos y a algunas esporas que participan en la reproducción sexual de muchos organismos. Este proceso de división celular, a diferencia de la mitosis, consta de dos divisiones sucesivas que tienen como resultado la reducción del número de cromosomas en las células hijas (fig. 99).

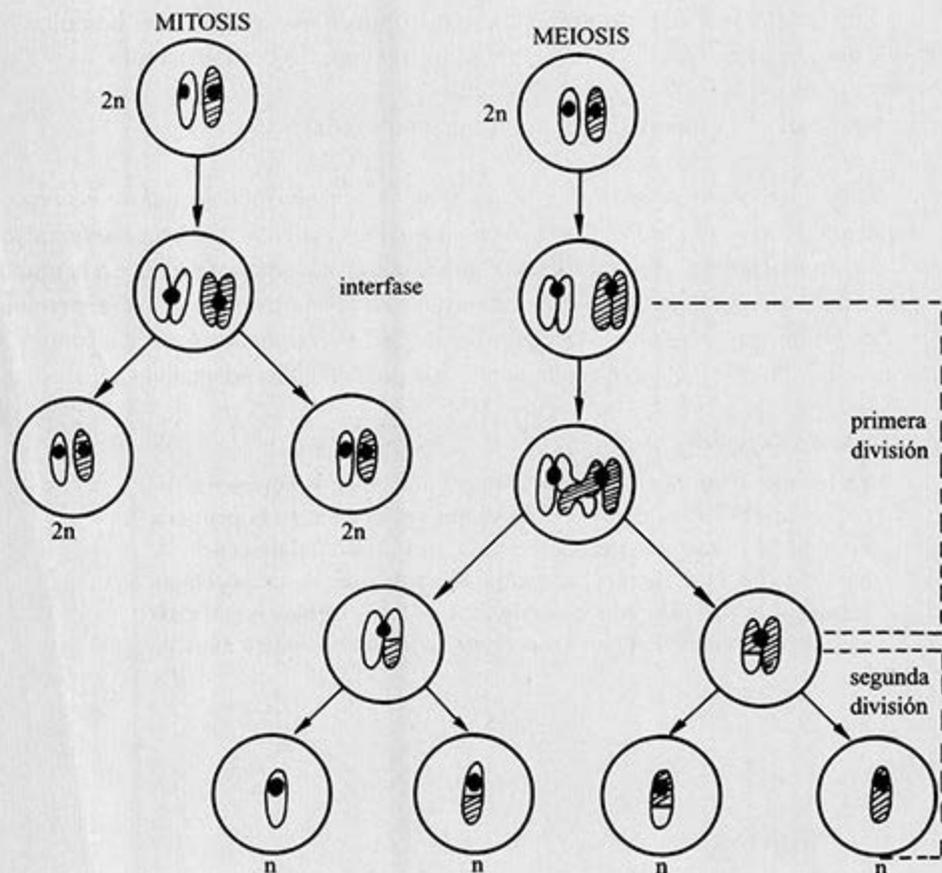


Fig. 99 Esquema comparativo de la división celular por mitosis y meiosis.

Recordemos que en la interfase se duplica el material genético. Como en la meiosis ocurren dos divisiones consecutivas, se obtienen cuatro células haploides ( $n$ ) que poseen un solo miembro de cada par de cromosomas (fig. 100).

En la primera división meiótica los pares de cromosomas homólogos se segregan o separan durante la formación de dos células hijas. Antes de separarse, cada pareja de cromosomas homólogos se aparea e intercambian material genético entre ellos, como parte de un proceso denominado *entrecruzamiento genético*. Este tiene una gran significación biológica, porque, como estudiamos en décimo grado, constituye una importante vía de variación hereditaria en la que los cromosomas homólogos de origen paterno y materno recombinan información genética y, por tanto, ello determina que las células hijas varíen en cuanto a esa información, al poseer nuevas y diferentes combinaciones de caracteres hereditarios. A continuación ocurre la segunda división meiótica sin que se produzca duplicación cromosómica; aquí se separan las cromátidas y se forman cuatro células haploides. Como podemos notar, estas células resultantes, contienen la mitad del número de cromosomas que la célula progenitora. En las células sexuales resultantes se distribuyen los cromosomas homólogos al azar, lo que aumenta las posibilidades de que se formen nuevas combinaciones.

¿Qué importancia tiene la meiosis en la reproducción sexual?

*La meiosis es un proceso de gran significación en la reproducción sexual de los organismos, ya que tiene como resultado la formación de gametos y algunas esporas mediante la cual ocurre este tipo de reproducción. En ella el número de cromosomas se reduce a la mitad respecto a las células progenitoras; esto es indispensable en el mantenimiento del número de cromosomas de las especies y es una importante fuente de variabilidad en los organismos de reproducción sexual, lo que contribuye a aumentar sus posibilidades adaptativas.*

#### SABÍAS QUE...

En la especie humana, las niñas al nacer poseen en sus ovarios alrededor de 400 000 células germinales que se detienen en la primera división de la meiosis, permaneciendo así hasta la adolescencia. A partir de los 11 ó 12 años, aproximadamente, una de estas células completa la meiosis cada mes. Algunas de estas células germinativas\* de óvulos pueden permanecer en ese estadio hasta 50 años.



#### Tarea

1. De acuerdo con la definición de reproducción, argumenta su importancia para los organismos.
2. Basándote en la figura 99, representa la división celular por mitosis y meiosis en células que poseen tres pares de cromosomas.

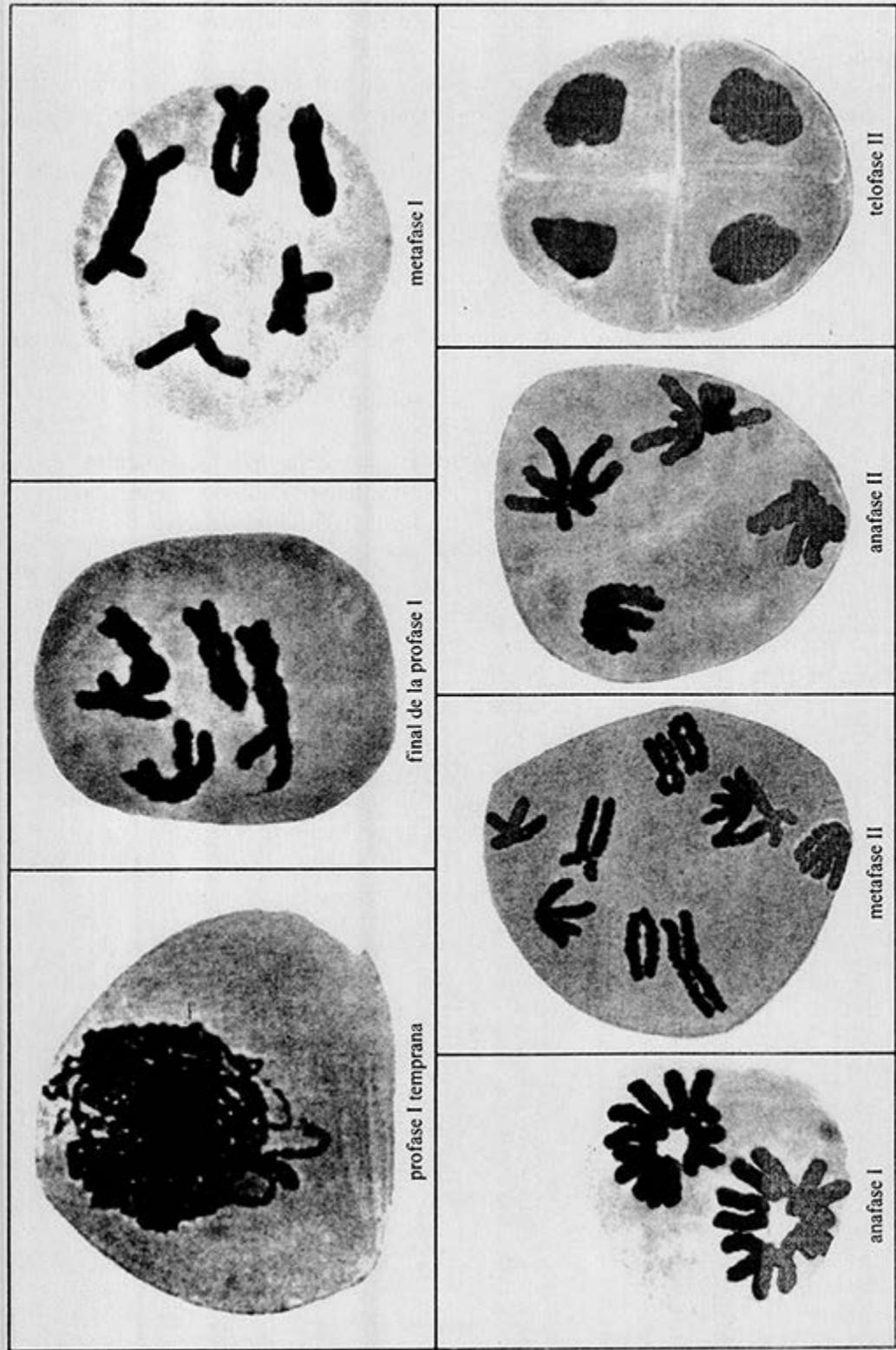


Fig. 100 Microfotografías de diferentes fases de la meiosis en una especie de planta.

3. Argumenta la importancia de la mitosis y la meiosis en la reproducción y desarrollo de los organismos.
4. Valora el planteamiento siguiente: "La meiosis es de gran importancia en la reproducción sexual de los organismos y una importante vía de variación de estos".

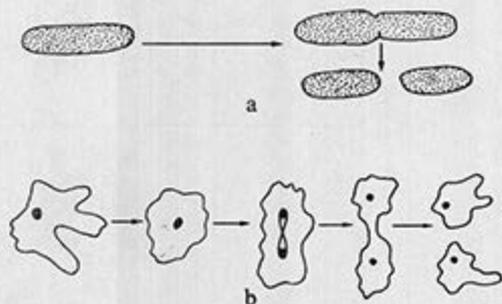
## Reproducción asexual

La **reproducción asexual** es la multiplicación del número de organismos con las mismas características hereditarias de los progenitores, debido a que en la formación de los nuevos individuos no hay intercambio ni recombinación genética. Este tipo de reproducción es propio de las móreras, los protistas, los hongos y de algunas plantas y animales. En algunos de estos organismos, constituye el único modo de reproducción, mientras que en otros, este sucede junto con la reproducción sexual.

La reproducción asexual presenta una gran diversidad de formas que dependen del grado de complejidad alcanzado durante el proceso evolutivo. En general, este tipo de reproducción ocurre por *reproducción vegetativa* o mediante *esporas producidas por mitosis*.

La **reproducción vegetativa** se caracteriza por el desarrollo de nuevos individuos a partir de una parte del cuerpo de los progenitores. Este tipo de reproducción asexual puede ocurrir de forma natural o artificial. Entre las formas de *reproducción vegetativa natural* se encuentra la bipartición, la gemación, la fragmentación y la reproducción por bulbos, bulbillos, tubérculos o rizomas. En la *reproducción vegetativa artificial*, introducida por el hombre a partir de la experiencia, se usan las estacas y la reproducción mediante partes de bulbos, tubérculos o rizomas.

La reproducción vegetativa natural por **bipartición** es propia de organismos unicelulares como las móreras, los protistas y algunos hongos unicelulares. En ella ocurre la división celular de un individuo que ha llegado a su crecimiento máximo, en dos que poseen la misma información hereditaria (fig. 101).



**Fig. 101** Representación esquemática de la bipartición en organismos unicelulares: a) en una bacteria; b) en una ameba.

Existen hongos unicelulares, como las levaduras, en los que *la división produce una célula hija de menor tamaño llamada yema que generalmente se desprende y crece hasta alcanzar el tamaño normal* (fig. 102a). Este tipo de reproducción vegetativa recibe el nombre de **gemación**. Algunos organismos pluricelulares, como la hidra verde y otros celenterados, las esponjas y algunos moluscos, también poseen esta forma de reproducción vegetativa, pero en estos casos las yemas se originan en el cuerpo del organismo madre y están constituidas por un grupo de células que comienzan a diferenciarse hasta originar un nuevo organismo que se separa y desarrolla con las mismas características que el primero (fig. 102b).

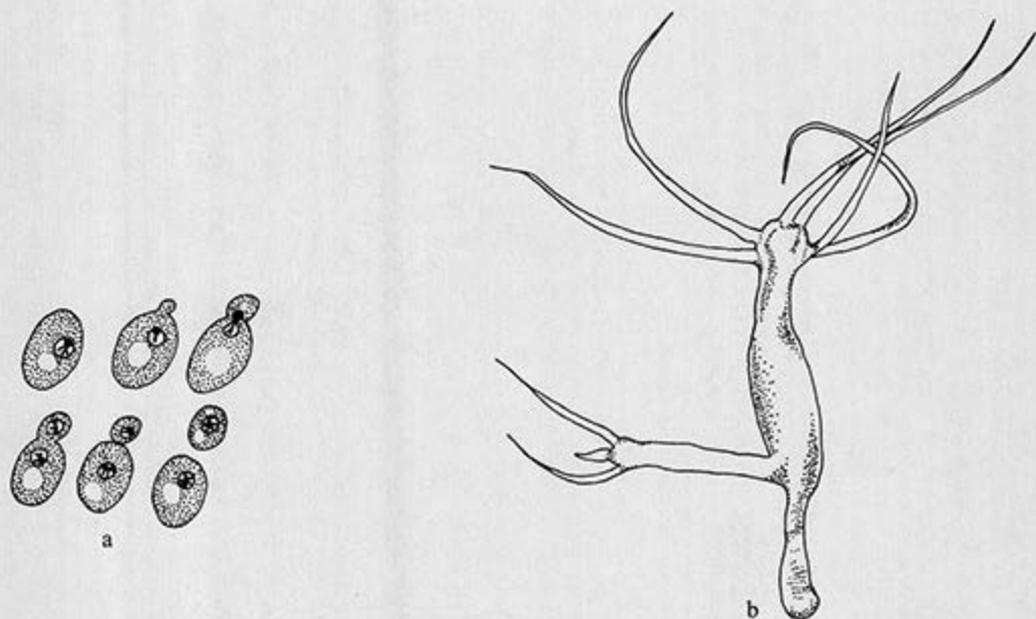


Fig. 102 Representación esquemática de la gemación en: a) levadura (organismo unicelular); b) hidra verde (organismo pluricelular).

### SABÍAS QUE...

A diferencia de los organismos unicelulares eucariotas, la bipartición de las bacterias y las cianobacterias no ocurre por mitosis, sino por un proceso denominado amitosis. Las diferencias de este tipo de división, típico de las móneras, fundamentalmente se deben a que, en la célula que constituye a estos organismos, existe un solo cromosoma circular que se mantiene unido a la membrana citoplasmática por un punto que coincide con el lugar donde se inicia la duplicación del ADN.

En algunos organismos ocurre la **fragmentación**, en la que una parte del progenitor se separa y, a partir de ella, se desarrolla un nuevo descendiente. Cuando las condiciones del medio ambiente son favorables, las algas filamentosas, como por ejemplo *Spirogyra*, se fragmentan en porciones menores que originan nuevos filamentos. También se reproducen por fragmentación muchas algas marinas y los líquenes. Esta forma de reproducción proporciona ventajas adaptativas a los organismos que la presentan, ya que permite un considerable aumento del número de individuos y una gran dispersión.

En las plantas se desarrollan también algunas **estructuras especializadas en la reproducción vegetativa** como los *bulbos*, *bulbillos*, *tubérculos* y *rizomas*, presentes en los musgos, los helechos y las plantas con flores (fig. 103).

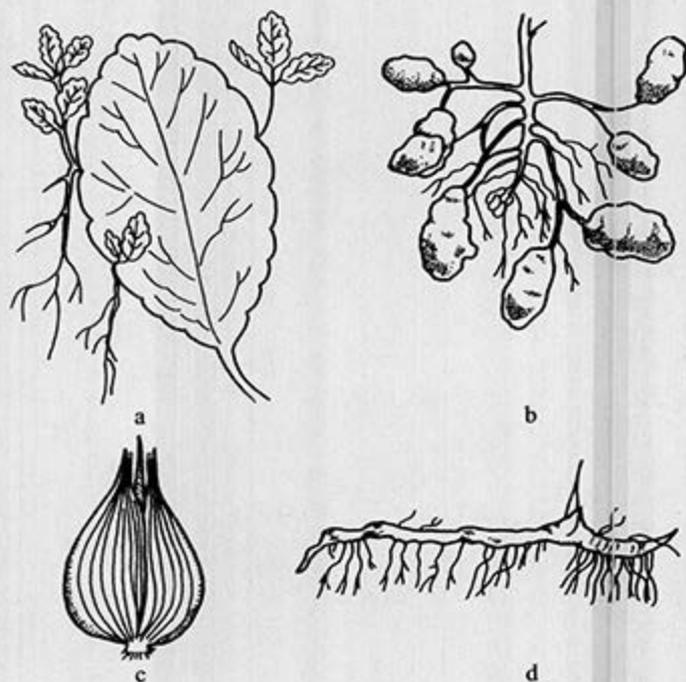


Fig. 103 Diversidad de estructuras especializadas en la reproducción vegetativa: a) bulbillos en una hoja de la planta siempreviva; b) tubérculo de papa; c) bulbo de cebolla; d) rizoma de la planta de mariposa.

Como hemos visto los procesos reproductores vegetativos, en los que un único organismo progenitor de forma natural origina su descendencia a partir de una parte de su cuerpo, tienen la importante ventaja de su rápida velocidad de propagación. En un corto período de tiempo se produce un gran número de descendientes, lo cual contribuye a la dispersión de las especies a que pertenecen. No obstante, tienen la desventaja de que, como la descendencia es idéntica al organismo que la origina, es decir con

la misma información genética que su progenitor, disminuye la variabilidad hereditaria, y por tanto las posibilidades de adaptación ante los cambios de las condiciones ambientales.

### SABÍAS QUE...

**La velocidad de reproducción de algunos organismos de reproducción asexual es tan rápida que bastan unos 20 min para que los descendientes se multipliquen nuevamente. Esta es la causa de que algunas bacterias patógenas, por ejemplo, se multipliquen muy rápidamente y provoquen infecciones severas en cortos períodos de tiempo. Por otra parte la rápida velocidad de reproducción de las bacterias las hace ideales para el desarrollo de estudios genéticos y biotecnologías.**

¿Qué utilidad tiene en la práctica el conocimiento de las diferentes formas de reproducción vegetativa?

El hombre utiliza partes del cuerpo de las plantas para su propagación artificial en numerosos cultivos, como por ejemplo en la caña de azúcar, en la que a partir de la fragmentación de su tallo, obtiene numerosas *estacas* para la siembra. La *reproducción por estacas* permite producir gran cantidad de descendientes que mantienen las características hereditarias de sus progenitores. Así, una variedad de caña obtenida genéticamente, con un alto contenido de sacarosa, resistencia a las plagas, entre otras características hereditarias de interés, puede propagarse y, a partir de ella, obtenerse un gran número de descendientes con estas características, lo que contribuye a introducir esta variedad en la producción y explotarla económicamente.

El hombre también aprovecha la reproducción vegetativa al utilizar fragmentos de tubérculos, como en el caso de la propagación artificial de la papa, la malanga y la yuca; de bulbos, como en el caso del ajo y la cebolla y de rizomas, como en la reproducción artificial del plátano, entre otras especies de interés económico para la alimentación humana.

La reproducción vegetativa artificial se aplica también en la jardinería. Por ejemplo, muchas plantas ornamentales como el marpacífico, el manto, los crotos y algunos rosales se pueden reproducir por estacas. Otras se siembran utilizando rizomas, como por ejemplo, en la reproducción vegetativa artificial de nuestra flor nacional: la mariposa.

También es muy importante en la agricultura la reproducción artificial por injertos. En Cuba se utiliza, entre otros, el injerto de cítricos sobre un patrón de naranjo agrio que proporciona gran resistencia a las plagas y enfermedades.

Los descendientes que se producen por vía vegetativa a partir de un solo individuo constituyen un *clon*. Como todos poseen las mismas características hereditarias, resulta de gran importancia la obtención de clones de alta productividad. En Cuba se hacen esfuerzos para aplicar nuevas técnicas, como los cultivos *in vitro* o vitroplantas, que

permiten obtener clones cada vez más productivos y resistentes a las plagas y enfermedades, por ejemplo de piña, plátano, caña, yuca y papa, entre otros.

### SABÍAS QUE...

El cultivo *in vitro* constituye una novedosa técnica en la que a partir de segmentos de la yema apical u otras partes de una planta, se obtiene un gran número de descendientes que mantienen las mismas características de la planta original, conservando así las características productivas que se desean explotar.

### SABÍAS QUE...

El ejemplo de clonación más impactante fue la obtención de la oveja Dolly a partir de la utilización de novedosas técnicas. En la actualidad se debate, desde el punto de vista de la Bioética, acerca de los riesgos y beneficios de la aplicación de esta tecnología.

Algunos hongos y plantas se reproducen asexualmente mediante *esporas diploides* ( $2n$ ) producidas por mitosis. Las *esporas son células protegidas por una cubierta resistente, que se forman en determinadas condiciones durante la vida de algunos organismos.*

La **reproducción por esporas** contribuye a una amplia dispersión geográfica de las especies, lo que constituye una importante ventaja adaptativa. Las esporas se producen en grandes cantidades y poseen adaptaciones que permiten su diseminación en distintas condiciones ambientales. Por ejemplo, algunos organismos producen esporas con cubiertas protectoras que aseguran su sobrevivencia en condiciones muy desfavorables de temperatura y humedad. Estas esporas pueden ser diseminadas fácilmente por el aire debido a su gran flotabilidad y germinan al ponerse en contacto con sustratos cuyas condiciones son favorables, como por ejemplo, el pan húmedo y los vegetales y frutas muy maduros.

La mayoría de las plantas terrestres producen esporas haploides ( $n$ ) como resultado de la división celular por meiosis. La formación de esporas haploides forma parte de mecanismos de reproducción sexual.



#### Tarea

1. Menciona las formas de reproducción asexual estudiadas. Caracteriza y ejemplifica cada una de ellas.
2. ¿Qué ventajas adaptativas proporcionan las formas vegetativas de reproducción asexual?

3. En una actividad práctica se observó con el microscopio óptico la bipartición de un organismo unicelular. Posteriormente se determinó que la descendencia tenía igual número de cromosomas que el organismo progenitor. ¿Qué explicación darías a estos resultados?
4. ¿Por qué la reproducción vegetativa artificial es de gran utilidad económica? Ejemplifica.
5. Valora el planteamiento siguiente: "La reproducción por esporas diploides, obtenidas por mitosis, constituye un mecanismo de reproducción asexual que proporciona ventajas adaptativas a los organismos que la presentan".

## Reproducción sexual

La **reproducción sexual** es la multiplicación del número de organismos con diferentes características hereditarias que los progenitores, debido a que en la formación de los gametos y los nuevos individuos ocurre intercambio y recombinación de la información genética. En la base de esta forma de reproducción se encuentra la división celular por meiosis, a partir de la cual se forman los gametos y esporas haploides.

### SABÍAS QUE...

**Puede existir apareamiento entre organismos de especies diferentes, lo que no constituye un ejemplo de reproducción, ya que los híbridos resultantes son estériles y no dejan descendencias fértiles. Ese es el caso de la mula, que es el descendiente estéril de una yegua y un burro macho.**

Hemos estudiado que en la reproducción sexual, generalmente el número de cromosomas de cada especie se mantiene constante de generación en generación, sin embargo, los descendientes son genéticamente diferentes entre sí y respecto a sus progenitores. ¿A qué se debe esta diferencia? Esto es posible debido a que en la reproducción sexual, ocurre la fecundación, en la que se unen dos gametos haploides, uno proveniente de cada progenitor.

En algunos casos, como en el moho del pan y otros hongos y el alga *Spirogyra*, los gametos poseen igual tamaño y movilidad (fig. 104a). En otros, aunque tienen la misma movilidad, se distingue un tipo de menor tamaño que el otro, por ejemplo, en algunas algas y algunos hongos (fig. 104b).

Los gametos de sexos diferentes se reconocen en los musgos, helechos y otras plantas, y en la mayoría de los animales. En ellos existe un gameto móvil y de pequeño tamaño: el gameto masculino o *espermatozoide*, y otro mayor e inmóvil: el femenino u *óvulo* (fig. 104c). Estos son el resultado de un proceso llamado **gametogénesis**, que consiste en la formación de gametos maduros. Este incluye varias etapas en las que las células germinativas primero se multiplican por mitosis y después algunas de estas nuevas células se dividen por meiosis y se diferencian en los gametos. En el caso de los

espermatozoides, este proceso se denomina *espermatogénesis* (fig. 105a), y en el de los óvulos, *ovogénesis*.

### SABÍAS QUE...

El resultado de la meiosis, en la espermatogénesis, son células haploides esféricas de abundante citoplasma que se transforman en espermatozoides, a partir de un complejo proceso de diferenciación, en el que el núcleo celular se contrae, se desprende la mayor parte del citoplasma y se forma la cabeza del espermatozoide. De igual forma ocurren otras transformaciones que tienen como resultado la formación de la cola en cada espermatozoide.

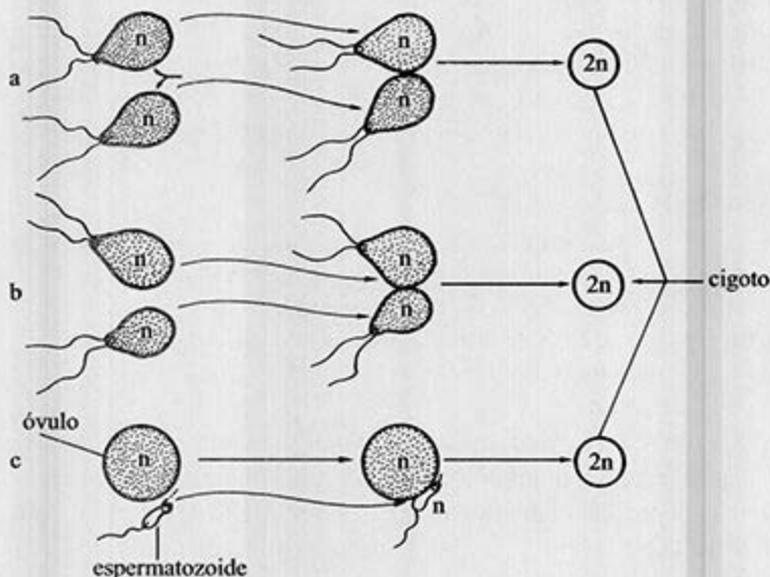
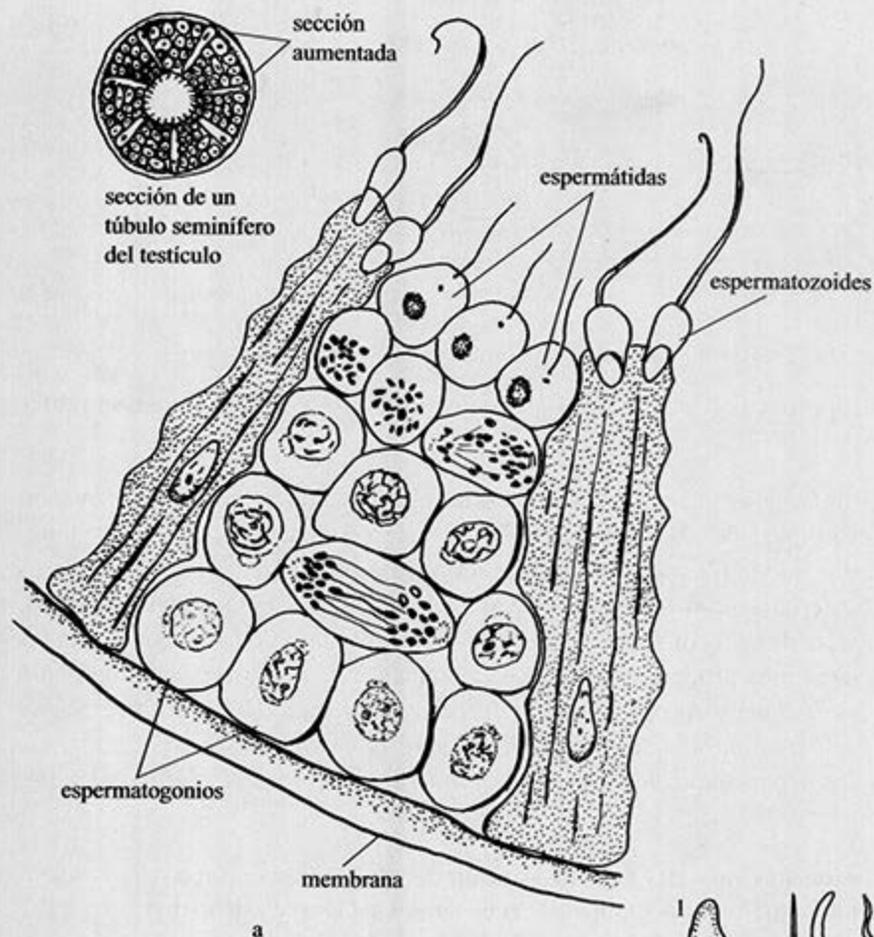


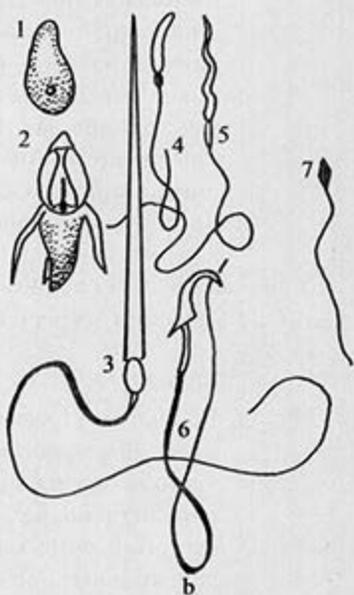
Fig. 104 Esquema que representa los diferentes tipos de gametos en la reproducción sexual.

Como resultado de la **fecundación** se restablece el número de cromosomas de la especie en la descendencia. Este proceso *consiste en la unión de dos gametos haploides (n), lo que conduce a la formación de un huevo o cigoto (2n) y, por tanto, a que se recupere el número de cromosomas de la especie, reducido a la mitad, en cada gameto*, debido a la meiosis que tiene lugar en la gametogénesis (fig. 106).

En la figura 106 podemos observar que durante la fecundación, a causa de la unión de dos gametos haploides, se forma un cigoto diploide. Esto nos muestra que la meiosis y la fecundación son procesos que se compensan en cuanto a sus resultados. En la primera se reduce el número de cromosomas y, en la segunda, se restablece, lo que permite mantener constante el número de cromosomas de las especies.

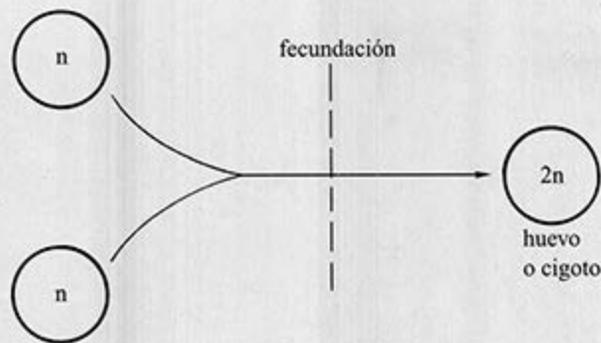


a



b

**Fig. 105** a) Esquema de una porción de un túbulo seminífero del hombre, en el que se representan diferentes fases de la espermatogénesis; b) esquema de espermatozoides de diferentes especies en el que se observan las diferencias en cuanto al tamaño y la forma: 1. *Ascaris lumbricoides*; 2. cangrejo; 3. salamandra; 4. rana; 5. gallo; 6. ratón; 7. hombre.



**Fig. 106** Esquema que representa la fecundación.

¿Por qué en la reproducción sexual, los descendientes se parecen y, a su vez, son diferentes a los progenitores?

En primer lugar, debemos recordar que en la reproducción sexual la información genética se transmite desde los progenitores hasta la descendencia mediante los gametos. Ya estudiamos que la meiosis implica que un mismo progenitor produzca gametos que contienen diferentes combinaciones de sus características hereditarias. Además, como consecuencia de la fecundación, en el huevo o cigoto también se recombinan las características de ambos progenitores. Consecuentemente, *la meiosis y la fecundación son fuentes de variación en las especies con reproducción sexual, lo que constituye una ventaja respecto a la reproducción asexual, ya que aumentan las posibilidades de adaptación de los organismos que la presentan ante los cambios del medio ambiente.*

#### SABÍAS QUE...

En muchos animales hay una estación del año definida de apareamiento, fundamentalmente en el verano, en la que existe un aumento evidente del tamaño de los testículos que se corresponde con la ocurrencia de la espermatogénesis; durante el resto del año, las glándulas testiculares son de poco tamaño y únicamente contienen espermatogonios.\* En el hombre y en muchos animales domésticos, la espermatogénesis es constante durante todo el año, una vez alcanzada la madurez sexual.

En los organismos encontramos una enorme diversidad de formas de reproducción sexual y de estructuras especializadas en esta función.

#### SABÍAS QUE...

En algunas especies de animales, como por ejemplo los machos de las abejas, también conocidos como zánganos, el nuevo individuo se origina a partir de un óvulo no fecundado, en un proceso llamado *p partenogénesis*. Como se aprecia esta es una excepción de la reproducción sexual, ya que no interviene el gameto masculino o espermatozoide.

En la naturaleza la fecundación y el desarrollo del huevo o cigoto solo ocurren en condiciones ambientales adecuadas. En las algas, los musgos y los helechos la reproducción depende del medio acuático, debido a que el agua es imprescindible en el proceso de fecundación. Durante el proceso evolutivo se desarrollaron estructuras que favorecieron la gradual independencia del medio acuático en la reproducción. Por ejemplo, en las coníferas y las angiospermas la fecundación ocurre sin necesidad del agua, ya que en estas plantas se ha diferenciado el *tubo polínico* que permite el traslado del gameto masculino, por el interior de las estructuras reproductoras, hasta el gameto femenino.

La mayoría de las plantas han desarrollado una alternancia de generaciones o fases, en la que una, la esporofítica, da lugar a esporas a partir de las cuales se origina la fase o generación gametofítica, donde se producen los gametos, los que, al unirse por fecundación, dan lugar a una nueva planta o esporofito.

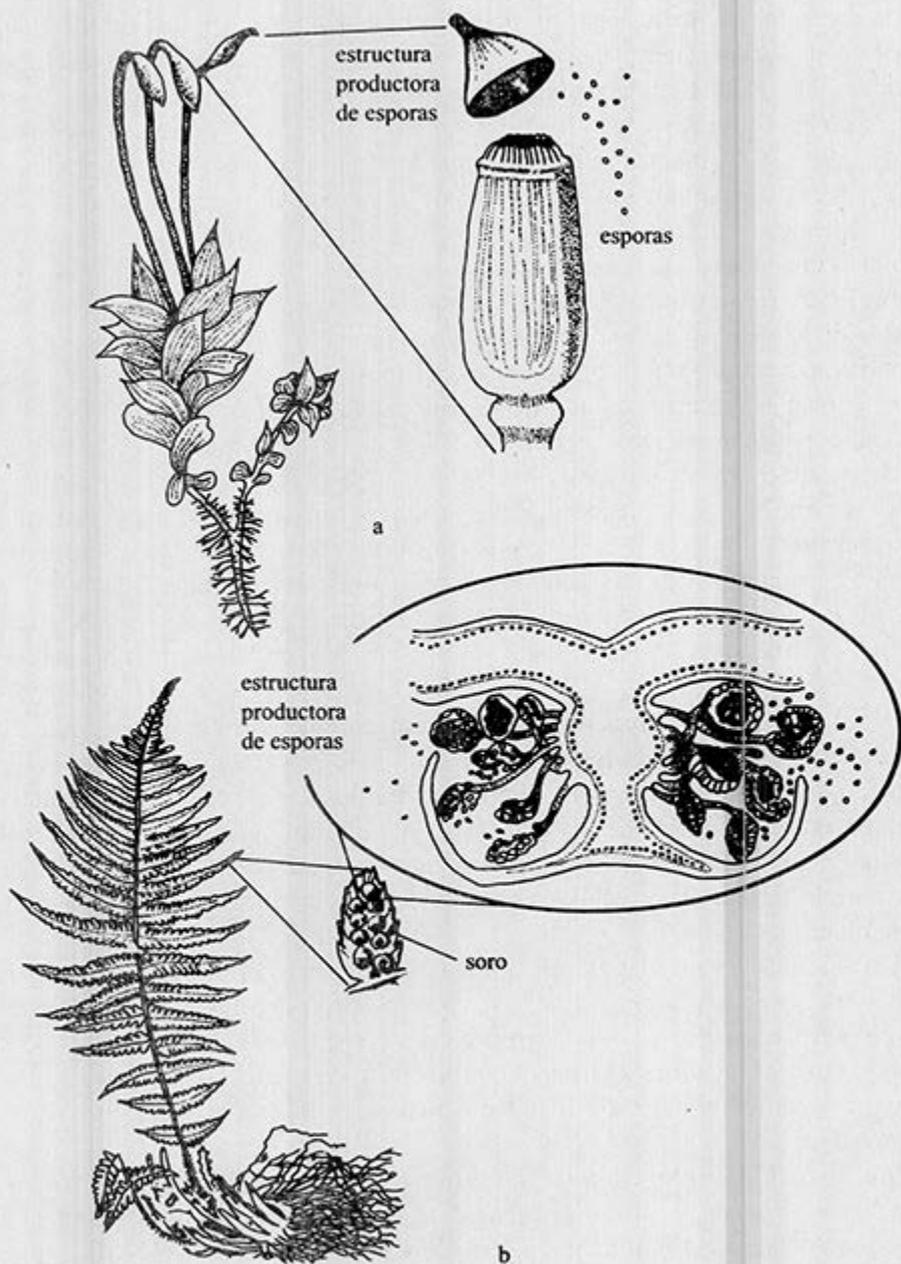
En las plantas, como resultado de la meiosis se producen esporas haploides que participan en su reproducción sexual. En la figura 107 se representan las estructuras formadoras de esporas en musgos y helechos.

En las coníferas y angiospermas se producen dos tipos de esporas haploides debido a la división meiótica: las *macrosporas* y las *microsporas*, que son las estructuras formadoras de los gametos. Las macrosporas forman las *ovocélulas* u óvulos, y la microsporas, las *espermátidas* o espermatozoides. En los pinos las estructuras formadoras de las esporas son los conos y en las angiospermas son las flores.

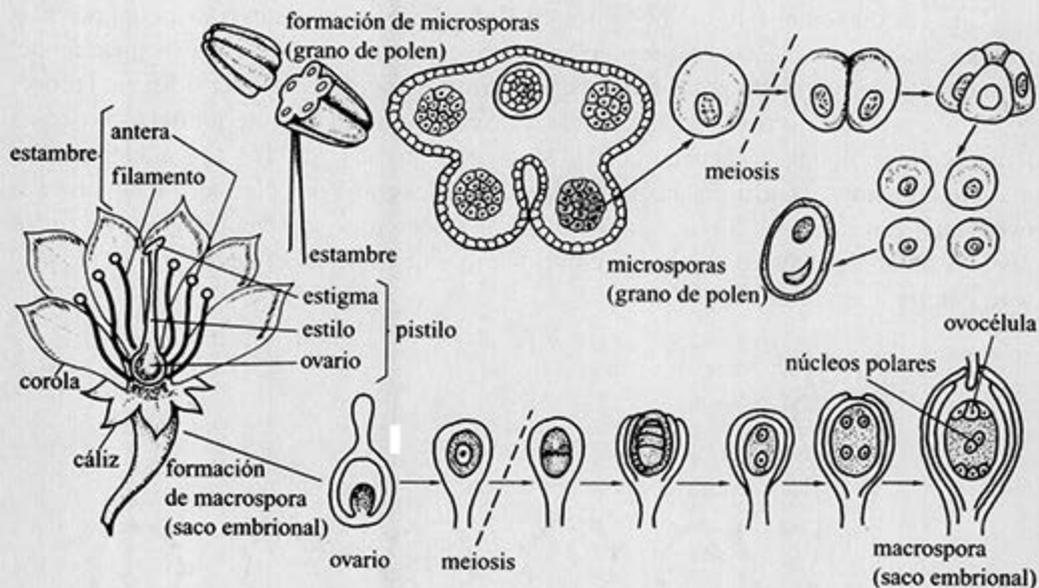
En la figura 108 podemos observar la formación de la microspora masculina o *grano de polen*, en los estambres de las flores, y del *saco embrionario* o macrospora, en el ovario de la flor. Los *estambres* están constituidos por el filamento y la antera, en esta última estructura se encuentran los *sacos polínicos*, donde a partir de las células madres del polen, por meiosis, se originan los granos de polen. Estos contienen dos células: célula vegetativa y célula germinativa, las que forman las espermátidas o espermatozoides.

El *pistilo* o *gineceo* de las flores, que consta del *estigma*, el *estilo* y el *ovario*, es la estructura reproductora femenina de las plantas angiospermas. En el ovario se desarrolla el *saco embrionario* o *macrospora* como resultado de la meiosis y sucesivas mitosis y transformaciones. El saco embrionario contiene la *ovocélula* u óvulo. Formada la ovocélula y el grano de polen ocurre la polinización y, con posterioridad, la fecundación.

La **polinización** es el transporte del grano de polen desde las anteras de las flores donde se producen, hasta el estigma de la flor. Los pétalos y otras estructuras florales contribuyen a la polinización, debido a que su color, tamaño y olor pueden atraer a los insectos y otros animales polinizadores. Estas características de las flores se consideran una importante adaptación que favorece la reproducción (fig. 109).



**Fig. 107** Representación de las estructuras formadoras de esporas haploides: a) raugos; b) helechos.



**Fig. 108** Esquema que representa la formación del grano de polen y del saco embrionario en las plantas angiospermas.



**Fig. 109** La diversidad de formas en las corolas de las flores en las angiospermas, contribuye a la polinización.

### SABÍAS QUE...

En plantas con flores existen algunas especies en las que los organismos presentan órganos reproductores de un solo sexo, otras presentan órganos reproductores separados de ambos sexos, mientras que otras contienen, a la vez, tanto órganos reproductores masculinos como femeninos.

Una vez que en el estigma de la flor quedan adheridos los granos de polen por sustancias azucaradas y viscosas que en ellos se encuentran, se produce la germinación del polen, lo que es regulado por diferentes fitohormonas como las auxinas. En este proceso, el tubo polínico formado se abre paso desde el estigma, por el interior del estilo, hasta llegar al ovario donde se encuentra con el saco embrionario (fig. 110). Los núcleos espermáticos formados a partir de la célula germinativa del grano de polen fecundan, uno a la ovocélula, formando el *cigoto*, que da lugar al *embrión de la semilla*, y el otro, a los núcleos polares presentes en el saco embrionario y que forman el *endospermo* que protege y nutre al embrión en la semilla.

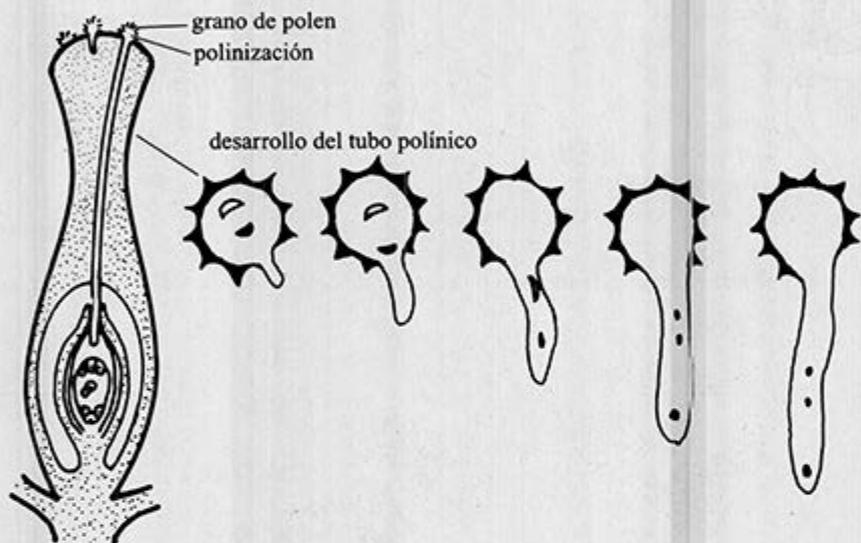


Fig. 110 Representación esquemática del desarrollo del tubo polínico.

¿Cómo se forma el fruto? ¿Qué partes de la flor forman la cáscara y la semilla?

Después del proceso de fecundación se inicia el *desarrollo embrionario* que conlleva a la formación del fruto (fig. 111). En este proceso, muchas de las partes de la flor se modifican gradualmente hasta transformarse en las diferentes partes del fruto. Mientras que, por lo general, el cáliz, la corola y los estambres de las flores se caen en este proceso, en el fruto pueden quedar restos del estigma y del estilo. La pared del ovario se modifica en el *pericarpo\** del fruto, a la vez que se diferencia en sus distintas partes: el *mesocarpo\**, el *endocarpo\** y el *epicarpo* o cáscara (fig. 112). De igual forma el saco embrionario se diferencia, de modo que la ovocélula u óvulo da lugar al embrión de la semilla, mientras los núcleos polares y el resto de sus componentes, originan al resto de las partes de la semilla (fig. 113).

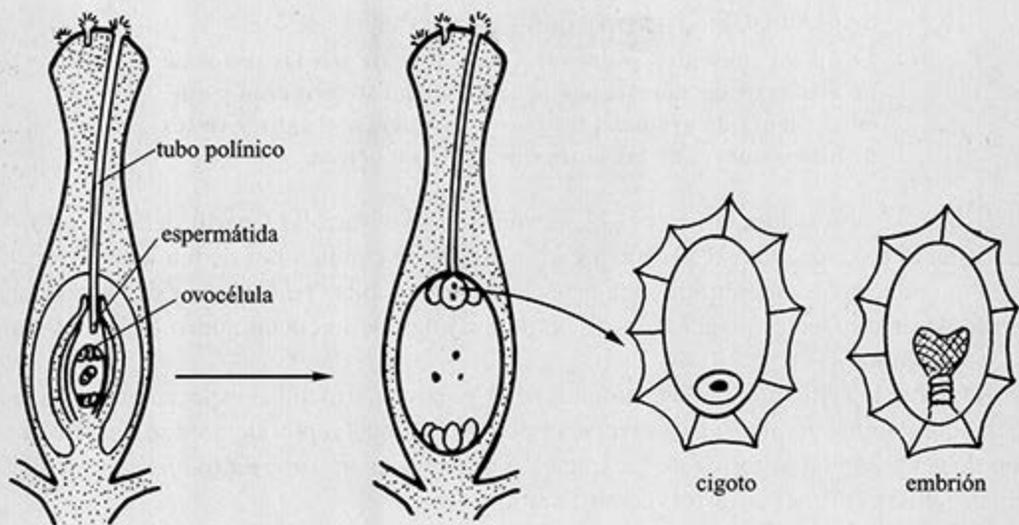


Fig. 111 Representación esquemática de la fecundación y desarrollo embrionario de una angiosperma.

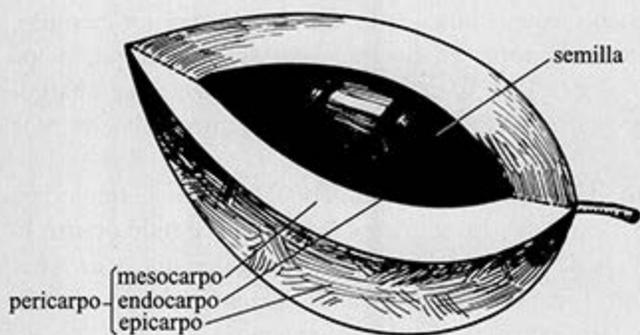


Fig. 112 Partes del fruto.

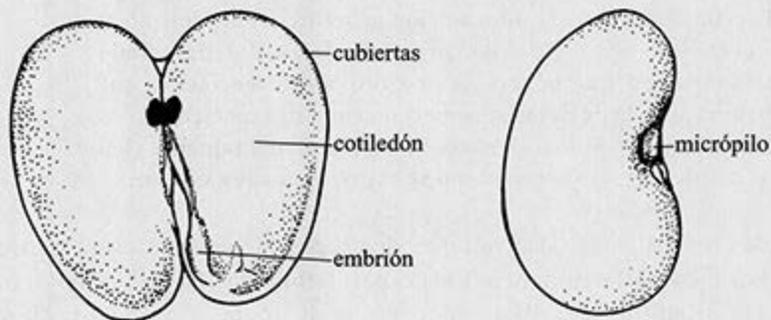


Fig. 113 Partes de la semilla.

### SABÍAS QUE...

Los pelos presentes en las mazorcas de maíz son los restos de los estilos de las flores a partir de las cuales se formaron y que, en la planta de granada, los frutos mantienen el cáliz y restos de los estambres de las flores que le dieron origen.

Como se observa en la figura 111, el embrión se desarrolla a partir del cigoto formado en la fecundación. Al germinar cada semilla, en condiciones de humedad y temperatura adecuadas, se multiplica la especie en nuevas plantas. Cuando estas alcanzan cierto desarrollo, se diferencian las flores y, con ellas, se inicia un nuevo ciclo de vida de estas plantas.

Durante la evolución de los animales se originaron estructuras especializadas en la formación de los gametos. Los diversos tipos de sistemas reproductores se desarrollaron de acuerdo con la forma de fecundación que presentan: *externa* o *interna* y con el lugar donde ocurre el desarrollo embrionario.

En algunos animales que tienen limitaciones en su dispersión geográfica o que son sésiles o de movimientos muy lentos, como las lombrices de tierra y algunos nematelmintos, los órganos reproductores producen espermatozoides y óvulos en el mismo individuo. Aunque esos animales originan ambos tipos de gametos, no suele haber autofecundación. En general, existen mecanismos que la impiden, como por ejemplo, la localización de los sistemas reproductores en distintas partes del cuerpo, o los momentos diferentes en que se producen los espermatozoides y óvulos. Sin embargo, ciertos animales, considerados *hermafroditas*,\* como las tenias y otros platelmintos parásitos, se autofecundan.

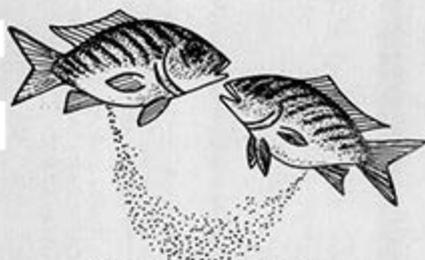
Generalmente los animales que viven en el medio acuático, como los equinodermos, los peces y muchos anfibios, expulsan los gametos al exterior, donde ocurre la fecundación, mediante una gran variedad de mecanismos que permiten que esto suceda simultáneamente y en el mismo lugar. En estos casos la *fecundación es externa* (fig. 114a) y el desarrollo embrionario ocurre fuera del organismo.

### SABÍAS QUE...

Cada célula lleva toda la información genética del organismo al que pertenece. Es desde las primeras fases del desarrollo embrionario, en que ocurre la progresiva diferenciación que determina que las células se especialicen y diferencien en los diferentes tejidos. Solo una parte de los aproximadamente cien mil genes del organismo humano se expresa en cada célula.

En los animales terrestres se desarrollaron diversas adaptaciones en el transcurso de la evolución. Por ejemplo, mantienen a los espermatozoides en un líquido llamado *semen* y poseen estructuras especializadas en realizar la *fecundación interna*. Evolutivamente, el origen de organismos con sexos bien diferenciados y de *fecundación interna* (fig. 114b), constituyeron hitos evolutivos que permitieron un mayor de-

sarrollo de los sistemas reproductivos. Otra adaptación de gran importancia en algunos animales, como los reptiles y aves, es la presencia de huevos con cáscara que protege al embrión durante el desarrollo embrionario.



los gametos se fusionan  
en el agua

a



los gametos se fusionan  
en los rganos reproductores  
femeninos

b

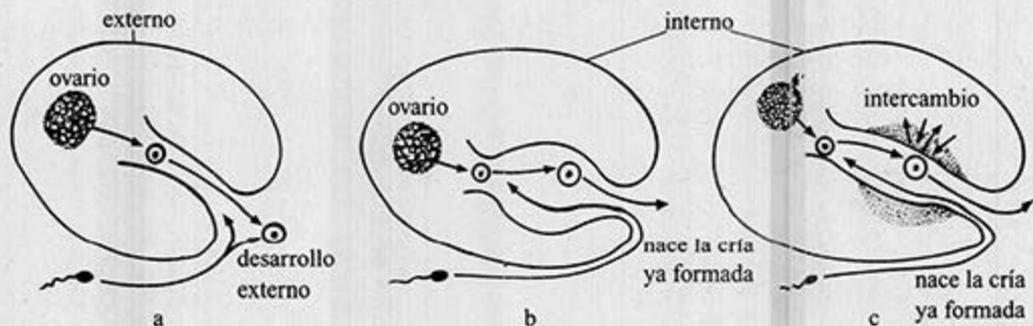
Fig. 114 Tipos de fecundación en los animales: a) externa; b) interna.

### SABÍAS QUE...

En algunos vertebrados, como los elefantes, las focas y las ballenas, los testículos permanecen siempre dentro de la cavidad corporal, mientras que en otros, como los ratones, los murciélagos y el camello, los testículos permanecen en el interior del cuerpo durante los períodos de inactividad reproductiva, pero durante la época de reproducción se desplazan hacia bolsas que reciben el nombre de escrotos.

En los vertebrados, la deposición de semen ocurre durante el proceso de *copulación o cópula*. Durante esta, los animales se acercan lo suficiente y el macho inserta su órgano copulativo: el pene, en el conducto copulativo femenino: la vagina, descargando el semen en su interior. Este proceso se conoce como *inseminación*.

En los animales de fecundación interna, los huevos o cigotos pueden ser expulsados al exterior y ocurrir el desarrollo embrionario fuera del organismo; ese es el caso de los reptiles y aves, y se consideran animales *ovíparos* (fig. 115a). En otros animales, reconocidos como *vivíparos* (fig. 115c), como los mamíferos, al desarrollarse el huevo o cigoto, también se forma una estructura llamada *placenta*, que lo fija al órgano materno y que permite el suministro de alimentos y oxígeno necesarios para su desarrollo; este ocurre en el interior de la madre, hasta que se separan de ella y nacen vivos. En algunos peces, como algunos tiburones y peces óseos y algunos mamíferos primitivos, los huevos son retenidos en el interior de la hembra, pero los embriones, durante su desarrollo, no intercambian sustancias con la madre, sino que se nutren y desarrollan a partir de las sustancias contenidas en el interior de los huevos, hasta que se separan de la madre; a estos animales se les consideran *ovovivíparos* (fig. 115b).



**Fig. 115** El desarrollo embrionario de los animales de fecundación interna se clasifica en: a) fuera de la madre (animales ovíparos); b) dentro de la madre y sin intercambio con ella (animales ovovivíparos); c) dentro de la madre y con intercambio (animales vivíparos).

Como se aprecia en la figura 116, en los organismos de reproducción sexual se establece una relación entre el proceso de formación de los gametos o gametogénesis y la fecundación; en este se restablece el número de cromosomas de la especie. A partir del huevo o cigoto resultante de la fecundación se forma el embrión, el que, como resultado del desarrollo embrionario, da origen a un nuevo organismo de la misma especie.

### SABÍAS QUE...

Los espermatozoides animales pueden mantenerse vivos, por congelación, fuera del cuerpo durante mucho tiempo. A los efectos de obtener mejores resultados productivos, en Cuba se practica la inseminación artificial en animales de interés económico, como en la ganadería vacuna, al introducir artificialmente, dentro del sistema reproductor femenino, gametos masculinos conservados de ejemplares con características productivas que se desean conservar.

### SABÍAS QUE...

En la mayoría de las hembras de los mamíferos, la receptividad para el apareamiento solo es eficaz en cortos períodos a lo largo del año; este período fértil se llama estro o celo y se caracteriza por un aumento del impulso sexual y por cambios en los ovarios, el útero y la vagina. Algunos animales, como la vaca, tienen varios períodos receptivos al año, el perro tiene uno o dos, mientras que las ratas y ratones tienen períodos receptivos cada cinco días. En cambio los machos, por lo general, son capaces de copular en cualquier momento.

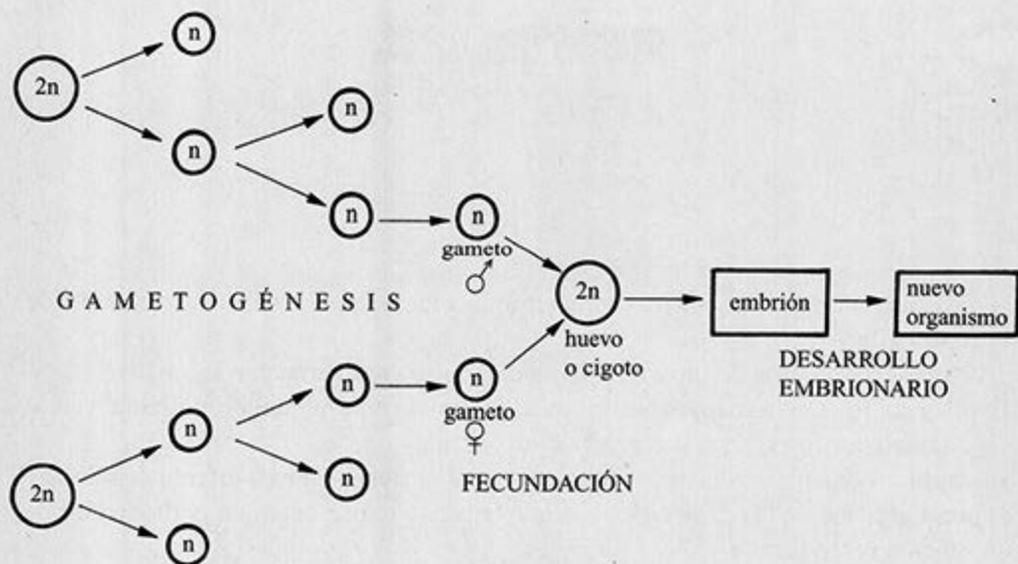


Fig. 116 Relación entre la formación de gametos, la fecundación y el desarrollo embrionario en los organismos de reproducción sexual.

El estudio de las formas de reproducción sexual es de gran importancia práctica. Conociendo con mayor profundidad las características de la reproducción de especies de interés económico, es posible obtener razas y variedades de mayor productividad. En nuestro país estos conocimientos se emplean por ejemplo: en el desarrollo de la camaronicultura; en el cultivo y explotación de la tilapia y otras especies; en la obtención de nuevas razas de ganado y en la aplicación de técnicas especializadas como el trasplante de embriones\* en el ganado vacuno y en otras especies de interés económico. En la medida que conozcamos mejor el comportamiento reproductivo de las especies podemos contribuir a evitar su extinción y a fomentar su desarrollo: por ejemplo; mediante la veda en épocas reproductivas, la repoblación forestal y protegiendo las áreas donde, por lo general, anidan o crían a la descendencia.

#### SABÍAS QUE...

La mayoría de los animales suelen desarrollar conductas de cortejo, características de cada especie, que permiten identificar a los animales del sexo opuesto; entre estas conductas se encuentran el canto específico de las especies de aves, así como los sonidos muy peculiares de algunas especies de peces, ranas e insectos. También existen otros mecanismos de atracción, determinados por hormonas y otras sustancias, que favorecen la fecundación interna.



### **Tarea**

1. ¿Qué función tienen los gametos en la reproducción sexual? Explica auxiliándote de la figura 105.
2. ¿Por qué los procesos de meiosis y fecundación se complementan?
3. Explica cuáles son las causas por las que la reproducción sexual proporciona ventajas adaptativas, respecto a la reproducción asexual.
4. Ejemplifica organismos de reproducción sexual pertenecientes a diferentes reinos y expresa algunas de las características adaptativas que presentan en el desarrollo de su función reproductiva.
5. Describe brevemente la reproducción de una planta angiosperma.
6. Argumenta el planteamiento siguiente: "Durante la evolución se desarrollaron en los organismos diversas adaptaciones que les permiten la reproducción en las condiciones del medio ambiente terrestre".
7. Ejemplifica la importancia práctica del estudio de la reproducción sexual de las especies.
8. Compara las formas de reproducción asexual y sexual en cuanto a sus características, ejemplos de organismos que la presentan y las ventajas adaptativas que proporcionan a los organismos.

### **Características de la reproducción y la sexualidad humanas**

En la especie humana la reproducción sexual es la única forma de multiplicación. Aunque los elementos generales de este proceso son similares a los de otros organismos, existen diferencias notables en cuanto a las condiciones en que se realizan y a las relaciones que se establecen entre los sexos.

El hombre, como especie, es un ser social, por lo que en las relaciones entre el hombre y la mujer no prevalece el instinto sexual propio de los animales, vinculado exclusivamente con el apareamiento y la obtención de nuevos descendientes. En las relaciones sexuales humanas predominan vivencias íntimas caracterizadas por el sentimiento amoroso, el deseo sensual y la atracción entre la pareja. Los seres humanos se distinguen del resto de los animales en que pueden, conscientemente, desear y planificar su descendencia.

Para comprender mejor las características de la reproducción humana, comenzaremos con el estudio de los principales procesos psíquicos y fisiológicos implicados en ella, los que analizaremos a partir de los cambios que tienen lugar en la sexualidad durante la adolescencia.

## **Principales cambios en la sexualidad. Imagen corporal e identidad de género**

Seguramente, hemos observado que alrededor de los 10 u 11 años de edad, en el caso de las muchachas, y de los 12 ó 13 años, en los muchachos, comienzan a producirse los primeros cambios que marcan el inicio de la adolescencia. Estos transcurren hasta los 20 años aproximadamente, según las particularidades individuales y del medio ambiente, e implican transformaciones biológicas, psicológicas y sociales que se desencadenan como resultado de la acción de las hormonas sexuales femeninas y masculinas, respectivamente. Desde el punto de vista biológico, estos cambios implican la madurez estructural y funcional en los miembros de ambos sexos y una amplia transformación de la *figura corporal*, la que se manifiesta en una gran variedad de caracteres sexuales, como se resume en el cuadro 4.

Las transformaciones funcionales más importantes están dadas en la maduración de los órganos genitales, la aparición de la menstruación y el ciclo sexual femenino en las muchachas, y de la eyaculación en los muchachos. En ambos, el desarrollo gradual de los genitales transcurre acompañado de cambios en el deseo y la atracción sexual, lo que conduce a la capacidad de enamoramiento y a un mayor interés y excitación sexual, la que generalmente se da a partir de diferentes formas de estimulación que resultan naturales durante esta etapa de la vida.

Cuadro 4

### **Principales cambios en los caracteres sexuales de las muchachas y los muchachos**

<i>En las muchachas</i>	<i>En los muchachos</i>
Crece el vello púbico y el axilar	Crece el vello púbico, el axilar y el facial
Crece las mamas	Se pronuncia la nuez de Adán y cambia la voz
Aumenta el volumen de las caderas	Se ensancha el tórax y aumenta la fuerza muscular
Crece los genitales	Crece los genitales
Aparece la primera menstruación	Se producen las primeras eyaculaciones

Los cambios en la figura corporal que hemos referido, ocurren generalmente rápidos y son de gran importancia para los adolescentes de ambos sexos. Estos constituyen elementos decisivos en el desarrollo de su *imagen corporal* o *representación mental que tenemos de nuestro propio cuerpo*. Esta imagen se va conformando en cada adolescente y joven en la interacción con otras personas y traen consigo un marcado interés y preocupación por la figura corporal.

En este período la autoestima puede debilitarse, ya que cambia la imagen corporal y pueden ocurrir preocupaciones y confusiones. La *autoestima es la forma en*

que uno se percibe y se siente a sí mismo. El reconocer nuestras fortalezas y debilidades, aceptarlas como son, tratando de reforzar lo positivo y modificar lo negativo, sin dudas nos ayuda a desarrollar nuestra autoestima, lo que unido al fortalecimiento de nuestra imagen corporal, contribuye al desarrollo de una sexualidad plena y feliz.

La **sexualidad** no es sinónimo de sexo; esta abarca más de lo genital, lo erótico y lo reproductivo. *Es una manifestación de nuestra propia personalidad que se expresa en todas las esferas de la vida y que se distingue por su singularidad en cada una de las personas.* La sexualidad se desarrolla a partir de nuestras experiencias personales y privadas, de las influencias sociales y se experimenta, se siente y se vive, en correspondencia con nuestras propias perspectivas individuales.

Al nacer todos somos biológicamente sexuados, lo que no implica que espontáneamente nos convirtamos en muchachos y muchachas, hombres y mujeres, sino que se produce un proceso de construcción individual, en el contexto de las relaciones sociales, a través del cual adquirimos *nuestra identidad de género*, es decir, aprendemos a pensar, sentir y actuar según nuestro sexo. Se denomina **sexo** al conjunto de atributos anatomofisiológicos de carácter sexual que conforman y distinguen, desde el nacimiento, un sexo del otro. Estos atributos son el fundamento de la sexualización en la medida en que, a partir del nacimiento del niño o la niña, se desencadena un proceso educativo que da lugar a que este se identifique con su cuerpo y comience, consciente o inconscientemente, a imitar y apropiarse de los modelos y modos de comportamiento establecidos socialmente para su sexo.

La **identidad de género** constituye el núcleo central de nuestra sexualidad y *es el sentimiento más íntimo y profundo de ser hombre o mujer, la convicción de la propia masculinidad o femineidad y que, como ya referimos, se estructura en las relaciones sociales a que se enfrenta el niño desde su nacimiento y durante toda la vida.* Esta expresa la forma particular en que cada uno valora, regula y proyecta su sexualidad, masculina o femenina, en cada situación de su vida.

Teniendo como base la identidad de género, *cada persona vivencia y expresa su masculinidad o femineidad de forma particular*, lo que constituye su **rol de género**. Este es diverso y cambiante según las condiciones socioculturales de la época o región en que se desarrolla el individuo. Cada persona, en la sociedad, expresa y desempeña su sexualidad, a partir de decisiones que pueden ser aprobadas o no por los que le rodean, según los patrones sociales.

En correspondencia con la identidad y el rol de género, se establece la **orientación sexoerótica** o la *dirección que toma el deseo sexual hacia el otro sexo*, determinando una orientación heterosexual. El deseo sexual puede tener también una orientación hacia el propio o hacia ambos sexos.

Estos procesos que conforman la sexualidad, aun cuando tienen su fundamento en importantes atributos biológicos, como la determinación genética, y la regulación endocrina y neuroendocrina que desencadenan los principales cambios corporales y psicológicos,

son los modelos sociales que se transmiten a partir del sexo que se hereda, los que condicionan, en mayor medida, la manera en que cada persona construye y expresa su sexualidad.

### **SABÍAS QUE...**

**Las formas de pensar, sentir y comportarnos como seres sexuales, las concepciones, los sentimientos, las actitudes, los valores y los modos de conducta que nos identifican en la esfera de la sexualidad, llevan siempre la "huella" de nuestra personalidad y que esta se forma y expresa en las relaciones sociales. De este modo, la sexualidad humana traspasa lo individual y privado, ya que se siente y expresa en las relaciones sociales propias de la pareja, de la familia y de toda la sociedad, y no se circunscribe a lo biológico, ya que está condicionada histórica, cultural y psicológicamente.**

Es muy importante que conozcamos cuáles son estas transformaciones biológicas y los procesos psíquicos asociados a la sexualidad, ya que los adolescentes deben, con ayuda de los adultos y sus compañeros, asumir y proyectar su nueva identidad personal, reafirmar su identidad de género y consolidar el sentimiento de masculinidad o femineidad. De igual forma, deben profundizar en estos aspectos para, además de asumir su sexualidad de manera plena y responsable, puedan prepararse y desarrollar acciones de educación sexual con sus amigos o hermanos y garantizar la de sus futuros hijos.

### **SABÍAS QUE...**

**Los patrones sociales, a partir de los cuales, generalmente, los padres y los adultos suelen modelar la sexualidad masculina y femenina de los niños y adolescentes, tienden a tener un carácter rígido y esquemático, que los convierte en fuertes estereotipos sexuales. Estos estereotipos sexuales son portadores de valores prejuiciados de las sociedades patriarcales, los que le atribuyen a cada sexo un conjunto de rasgos y cualidades opuestas a partir de dos patrones antagónicos: el masculino, que representa al hombre como ser fuerte y dominante, y el femenino, que concibe a la mujer como ser débil, sumisa y dependiente.**

Si bien en Cuba, a partir del triunfo de la Revolución se desarrolla un trabajo educativo organizado y sistemático, a través de todas las fuerzas sociales, dirigido a contrarrestar los patrones estereotipados que consolidan concepciones machistas, no resulta fácil borrarlos de la conciencia de todas las personas, ya que son el resultado de muchos siglos de condicionamiento en este sentido. Ante esta realidad, no debemos ser portadores y transmisores de esos modelos nocivos y de los prejuicios y tabúes sexuales que ellos contienen.



### Tarea

1. Argumenta por qué la adolescencia constituye una etapa de transformaciones biológicas y psicológicas de gran importancia para la respuesta sexual y la reproducción.
2. Diferencia los conceptos sexo y sexualidad. ¿Cuál es el núcleo central de la sexualidad?
3. Investiga, con ayuda de tu profesor o profesora, cómo se expresa la sexualidad humana en las dimensiones vitales: individuo, pareja, familia y sociedad.
4. Investiga acerca de las sociedades patriarcales y refiere cómo puedes contribuir a disminuir o eliminar la influencia de los patrones de estas sociedades que aún prevalecen.

### Ciclo sexual femenino

Ya conocemos que a partir de mecanismos reguladores endocrinos y neuroendocrinos, en los adolescentes ocurren importantes transformaciones anatómicas, fisiológicas y psicológicas asociadas a la maduración de los órganos genitales y otros cambios que modifican la imagen corporal. Desde el punto de vista anatómico y fisiológico, el inicio de la menstruación y los cambios estructurales y funcionales que esta implica, constituye, en el caso de las muchachas, la más importante transformación que está acompañada de cambios que las preparan para asumir favorablemente la respuesta sexual femenina y la reproducción.

Con los cambios biológicos y psíquicos de la adolescencia se inicia el **ciclo sexual femenino**, el que comprende un conjunto de modificaciones cíclicas en un período de duración de aproximadamente 28 días, y que es regulado por el sistema hipotálamo-hipófisis, los ovarios y el útero.

#### SABÍAS QUE...

**El ciclo sexual femenino puede durar en algunas mujeres 24 días y en otras hasta 45, en condiciones completamente normales.**

El ciclo sexual femenino comprende procesos de desarrollo y maduración del óvulo en los ovarios, así como de los cambios cíclicos que ocurren a nivel del útero y de los demás órganos sexuales femeninos (fig. 117).

Generalmente de uno de los ovarios es liberado, cada mes, un óvulo en condiciones de ser fecundado. En el útero se crean las condiciones que permiten la implantación y nutrición del cigoto y en las mamas se estimula el tejido glandular.

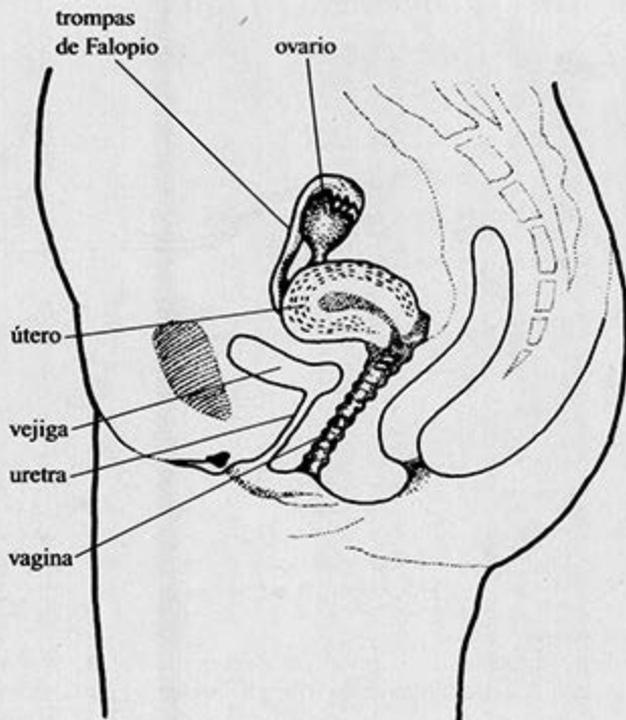


Fig. 117 Representación de los órganos sexuales femeninos.

¿Cuáles son las transformaciones morfológicas y funcionales que ocurren en los ovarios y en el útero durante el ciclo sexual?

Si realizáramos un estudio de los ovarios de una niña en el momento del nacimiento, comprobaríamos que en cada uno de estos órganos existen miles de células especializadas rodeada, cada una, por tejido epitelial, constituyendo pequeñas estructuras denominadas *foliculos ováricos* (fig. 118).

Aproximadamente de 400 a 500 foliculos seguirán una maduración completa durante la vida reproductiva de la mujer. En cada foliculo crecerá y se desarrollará un futuro óvulo. Se ha comprobado que en el ciclo sexual, después de haberse completado el desarrollo de un foliculo en uno de los ovarios, aproximadamente a los 14 días de iniciado el ciclo, se expulsa un óvulo, proceso conocido con el nombre de *ovulación*. Después de la ovulación, el foliculo se convierte en una estructura glandular conocida con el nombre de *corpo lúteo* (ver fig. 118).

Una vez ocurrida la ovulación las corrientes producidas por el movimiento de cilios presentes en determinadas células de la pared de las trompas de Falopio, contribuyen al paso del óvulo hacia su interior, así como a su posterior desplazamiento. En este trayecto es donde puede ocurrir la fecundación.

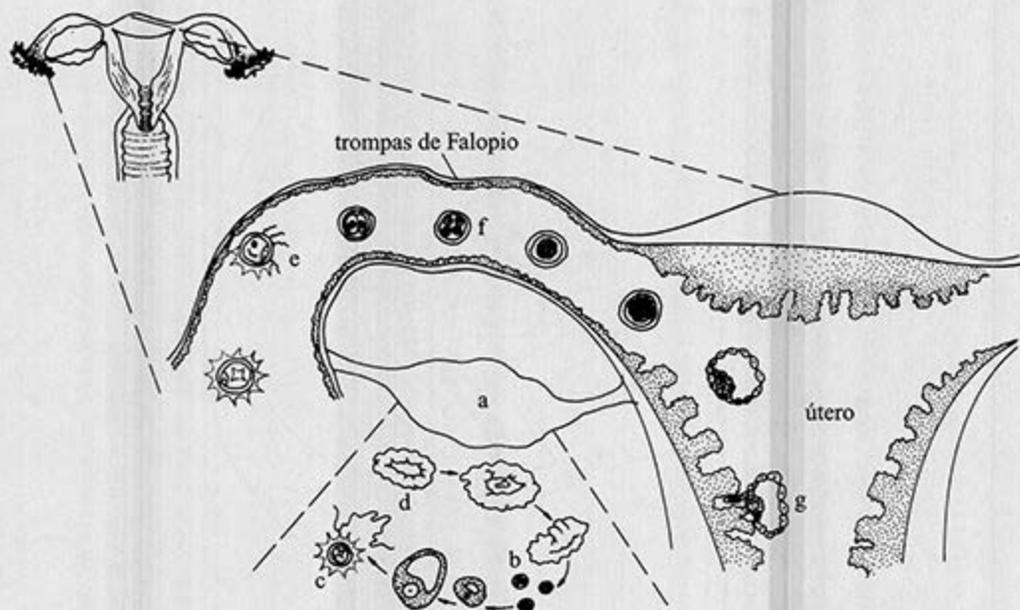


Fig. 118 Esquema que representa las transformaciones en el ovario y el útero: a) ovario; b) folículo ovárico; c) ovulación; d) cuerpo lúteo; e) fecundación; f) segmentación; g) implantación.

En el útero ocurren transformaciones que permiten la implantación del huevo fecundado. Las células del tejido que revisten sus paredes internas proliferan, aumentan las secreciones de las glándulas, aparecen depósitos de elementos nutritivos y aumenta el riego sanguíneo.

¿Qué sucede cuando el óvulo no es fecundado?

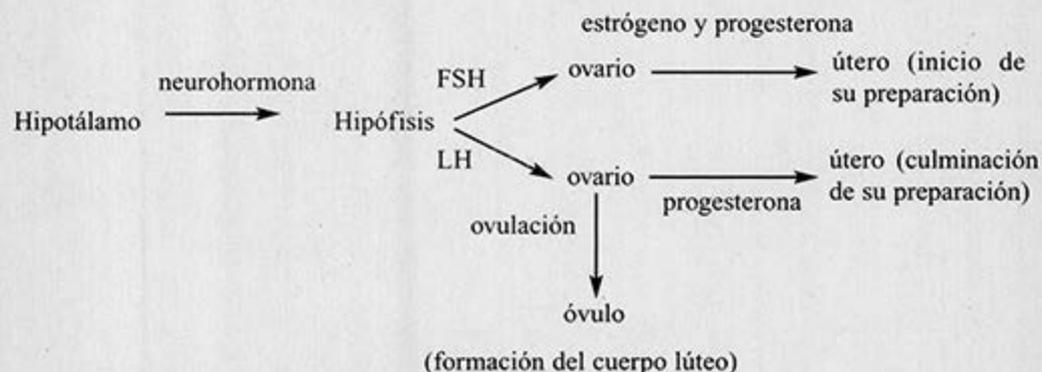
Si no ocurre la fecundación se produce la descamación de la pared interna del útero y la ruptura de los vasos sanguíneos que se encuentran en ella produciéndose la *menstruación*, que es una pequeña hemorragia al exterior, a través de la vagina. Una vez ocurrida esta, se inicia nuevamente el crecimiento de un nuevo folículo, lo cual le confiere carácter cíclico al proceso.

¿Cómo se produce la regulación en el ciclo sexual femenino?

En el ciclo sexual las hormonas hipofisarias tienen una participación activa. Esta glándula produce dos hormonas que son esenciales en este ciclo: la hormona estimulante de los folículos (FSH) y la hormona luteinizante (LH) (fig. 119).

Durante el ciclo sexual femenino hay variaciones periódicas en la concentración de FSH y LH en sangre. Estas variaciones cíclicas provocan cambios en el funcionamiento de los ovarios, que constituyen sus órganos blanco.

En los ovarios además de óvulos también se producen hormonas. En los folículos en crecimiento, específicamente, antes y después de la ovulación, se secretan estrógenos y progesterona. Estas hormonas ováricas contribuyen también al desarrollo y la función de los órganos sexuales, entre los que se encuentra el útero. El ovario interviene en la regulación del ciclo, pero a su vez los procesos que en él ocurren son regulados por el sistema hipotálamo-hipófisis, mediante la acción de hormonas folículo-estimulantes y luteinizantes (ver fig. 52), como se observa a continuación:



Al comenzar la menstruación aumentan las concentraciones de FSH y LH en sangre. El aumento de la concentración de FSH estimula el crecimiento de folículos ováricos. Estos producen estrógenos que estimulan la liberación de la LH por la hipófisis. Al aumentar la concentración de esta hormona se produce el crecimiento final del folículo, su maduración y la ovulación. Generalmente en cada ciclo un solo folículo, proveniente de uno de los dos ovarios, se desarrolla completamente, por lo que se produce un solo óvulo.

Después de la ovulación, las paredes del folículo vacío se pliegan. Bajo la influencia de la LH se convierten en una estructura productora de hormonas que es el *cuerpo lúteo* (ver fig. 119). El cuerpo lúteo secreta progesterona y en menor cantidad estrógenos. Estas hormonas, y en particular la progesterona, contribuyen a mantener la preparación uterina, inhibiendo la contractilidad de los músculos del útero. Durante el desarrollo del cuerpo lúteo, el aumento de la concentración de sus hormonas en sangre, provoca, por el mecanismo de retroalimentación, la disminución en la secreción de FSH y LH, impidiendo que en este lapso de tiempo madure un nuevo folículo.

Cuando el óvulo no es fecundado, el cuerpo lúteo degenera, por lo que los niveles de estrógeno y progesterona descenden en sangre ocurriendo la menstruación (ver fig. 119).

El proceso de regulación descrito anteriormente, depende de la actividad nerviosa superior. El estrés, los cambios climáticos, entre otros factores, pueden provocar alteraciones en las distintas etapas del ciclo sexual.

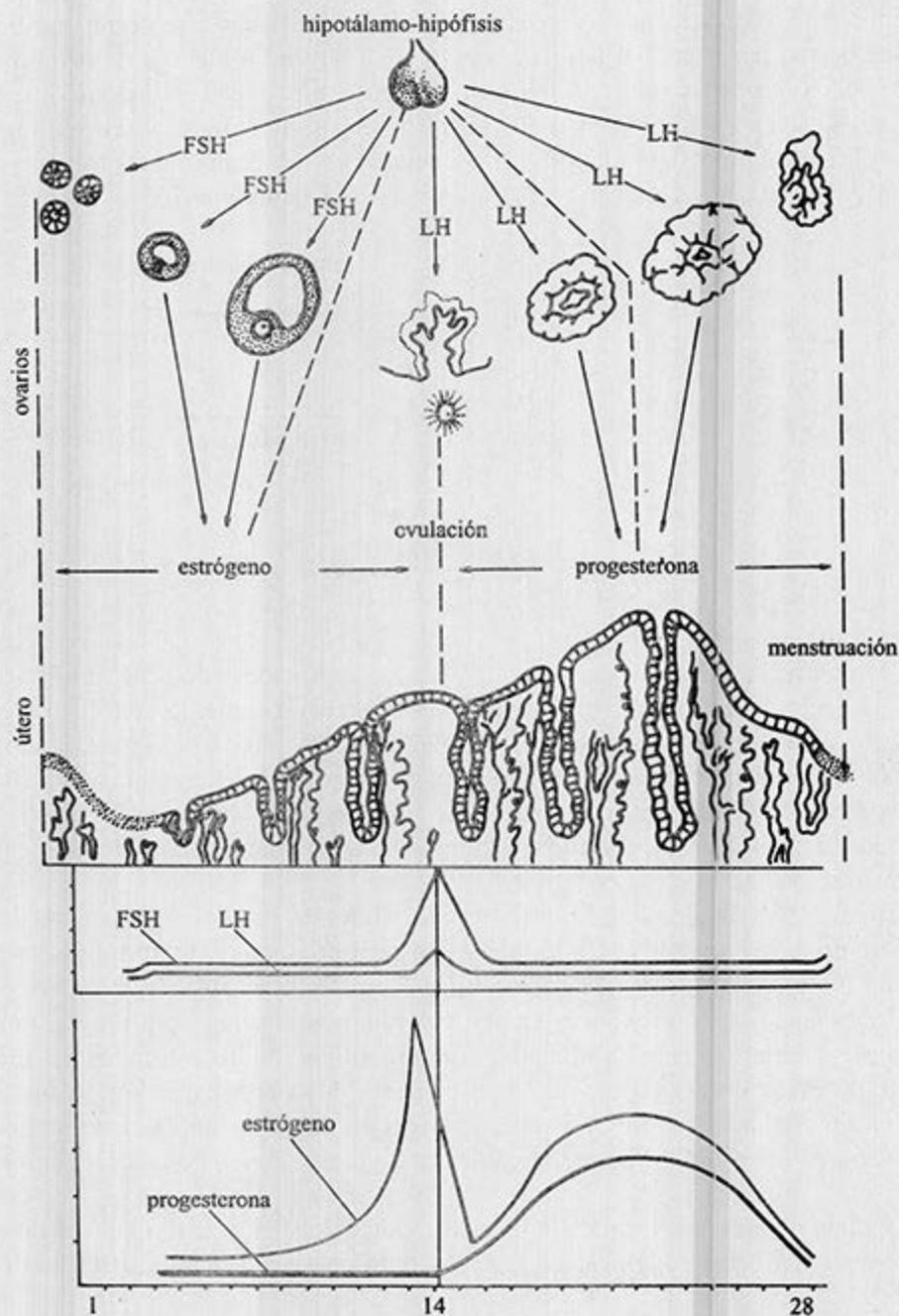


Fig. 119 Esquema que representa la regulación hormonal del ciclo sexual femenino.



### **Tarea**

1. Menciona cuáles son las principales transformaciones que ocurren en los ovarios y el útero durante el ciclo sexual femenino.
2. Analiza la concentración de progesterona en sangre durante el ciclo sexual en la gráfica de la figura 119.
  - a) ¿Qué proceso ocurre el día 28 del ciclo? Explica.
3. Basándote en el modelo general de regulación neuroendocrina que aparece en la figura 48b), construye otro modelo para explicar la regulación de la ovulación durante el ciclo sexual.
4. Una mujer acude a la consulta médica presentando problemas de esterilidad y el médico determina, después de efectuado el estudio del caso, que tenía deficiencias en la producción de FSH y LH. ¿Qué explicación darías en este caso?
5. ¿Por qué la regulación del ciclo sexual femenino depende de la relación que existe entre la hipófisis, los ovarios y el útero?

### ***Producción de semen. Regulación de la formación de espermatozoides***

Conocemos que al arribar a la etapa de la adolescencia en el varón comienzan a producirse transformaciones biológicas y psíquicas. El crecimiento y el desarrollo de los órganos sexuales asociados a la producción de espermatozoides, son transformaciones características de esta etapa, a partir de la cual el niño se convierte en un adulto.

La formación de miles de gametos masculinos en los túbulos seminíferos de los testículos comienza aproximadamente entre los 12 y los 14 años de edad. Recordemos que los túbulos seminíferos se comunican con el epidídimo. En este último se almacenan los espermatozoides. El epidídimo se comunica con los conductos deferentes y estos desembocan en la uretra, último conducto que se localiza a lo largo del pene y por donde pasan los espermatozoides en su recorrido de los testículos al exterior (fig. 120).

Los espermatozoides salen al exterior contenidos en un líquido lechoso denominado semen, que está formado por los líquidos procedentes de los conductos deferentes, las vesículas seminales y la próstata. Este fluido es rico en legumina, ácido ascórbico, aminoácidos, ácido cítrico,  $Ca^{2+}$ , fosfatasa ácida, entre otras sustancias que contribuyen

a la nutrición y protección de los espermatozoides, lo cual permite, además, su movilidad durante el recorrido por los órganos sexuales.

### SABÍAS QUE...

En cada eyaculación son expulsados aproximadamente de 50 a 150 millones de espermatozoides.

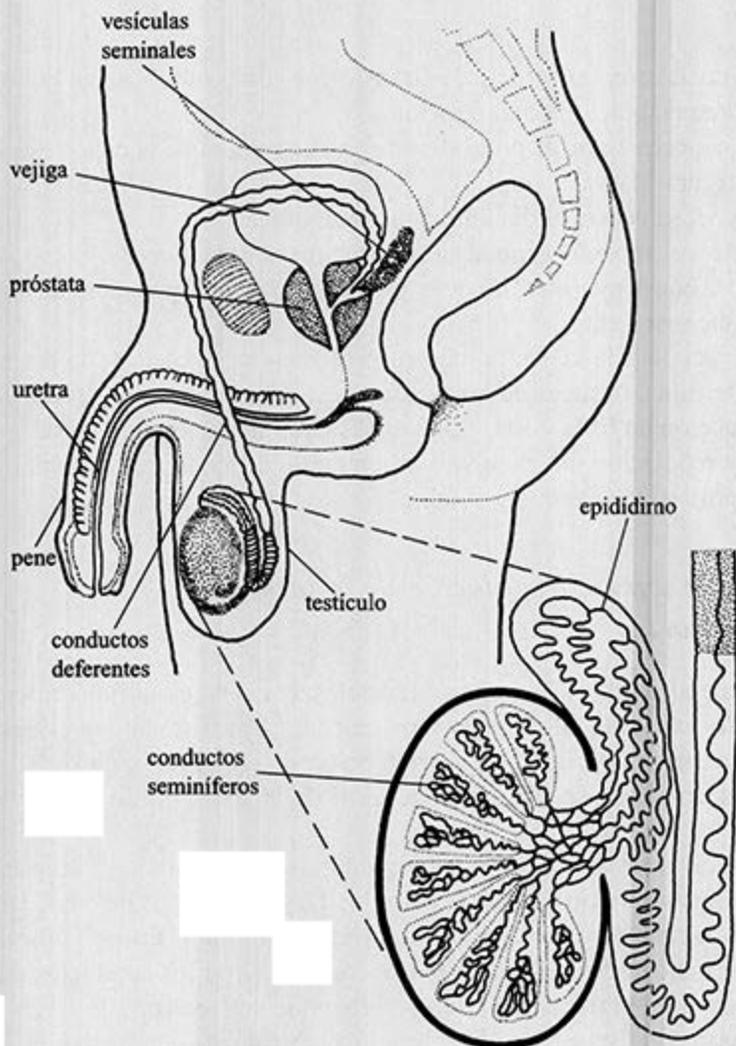


Fig. 120 Representación esquemática de los órganos sexuales masculinos.

Los espermatozoides pueden vivir varias semanas en los genitales masculinos, pero una vez expulsados o eyaculados la duración máxima de su vida, en condiciones ambientales, es de 24 a 72 h.

### SABÍAS QUE...

La circuncisión constituye una operación quirúrgica para extirpar todo o parte del prepucio del pene en los adolescentes varones. La circuncisión ha sido una práctica muy extendida como rito religioso desde épocas remotas. Cuando la conquista romana de Egipto, esta práctica tenía un significado simbólico y solo sacerdotes circuncidados podían officiar ciertos servicios religiosos. En la actualidad, en algunos países se asocia a la certificación de que el joven está preparado para el matrimonio y la madurez sexual.

La producción de espermatozoides, a diferencia del ciclo sexual femenino, se caracteriza por ser un proceso no cíclico durante la etapa reproductiva. La ininterrumpida formación de espermatozoides se debe, entre otras causas, a la acción de la hormona foliculo-estimulante (FSH) y de la hormona estimulante de las células intersticiales (ICSH). Esta última es de composición química y función similares a la LH que se produce en la mujer, pero recibe otro nombre debido a que actúa sobre las células intersticiales presentes entre los túbulos seminíferos de los testículos, provocando la producción y secreción de andrógenos por estas. Los andrógenos son hormonas que contribuyen a la culminación del proceso de producción de espermatozoides y determinan la formación de los caracteres sexuales secundarios masculinos.

### SABÍAS QUE...

Los testículos se desarrollan en el interior de la cavidad abdominal, pero en el hombre y otros mamíferos, descienden poco antes o inmediatamente después del nacimiento al saco escrotal por un conducto llamado canal inguinal que, después del nacimiento se cierra por el crecimiento de tejido conjuntivo. Su descenso normal es una adaptación que favorece la producción de espermatozoides, ya que la temperatura, unos 4 °C superior en el interior del abdomen, impediría su formación.



### Tarea

1. Explica, utilizando la figura 120, cómo intervienen las estructuras del sistema sexual masculino en la producción del semen.
2. ¿Cómo está constituido el semen? Explica su importancia en la reproducción humana.
3. Explica la regulación de la producción de espermatozoides en el hombre, teniendo en cuenta las hormonas que participan.

## ***Respuesta sexual, embarazo y parto. Riesgos y consecuencias del embarazo precoz***

Los cambios anatómicos, fisiológicos y psíquicos que hemos referido son fundamentales para la ocurrencia de una **respuesta sexual**, que es la respuesta integral del organismo a un estímulo sexual efectivo e implica cambios fisiológicos genitales y extragenitales. Es una reacción en la que se involucra todo el organismo y en la que intervienen, no solo los genitales, sino los sentimientos, los pensamientos y las experiencias previas de la persona.

Al hablar de la respuesta sexual humana, nos referimos a los cambios fisiológicos, psicológicos y sociales que pueden influir para que esta sea placentera; por ejemplo, la influencia de estado de ánimo, el lugar en que se tiene la relación sexual, la salud y la edad. En relación con este último factor, debemos tener en cuenta que, aun cuando en la tercera edad la frecuencia y la duración de la reacción sexual disminuyen, no desaparece la capacidad de respuesta sexual. De ahí la importancia de respetar la sexualidad de cada persona, sea cual sea su edad.

La respuesta sexual humana pasa por cuatro fases: excitación, meseta, orgasmo y resolución (fig. 121). La *excitación* se produce como resultado de la estimulación sexual, ya sea física, psíquica o la combinación de ambas. La fase de *meseta* es donde se intensifica y estabiliza la excitación sexual. El *orgasmo* implica la liberación de la tensión sexual acumulada durante la excitación a través de una serie de contracciones reflejas, fundamentalmente. En la fase de *resolución*, todos los cambios ocurridos en la excitación se recuperan y pasan a su estado de reposo o anterior a la excitación.

Ya conocemos que durante el coito o acto sexual el hombre deposita el semen que contiene los espermatozoides en el extremo superior de la vagina de la mujer, de ahí los espermatozoides se mueven por el interior del útero y las trompas de Falopio, donde pueden encontrarse con el óvulo. Debe tenerse en cuenta que, como resultado de juegos sexuales, puede producirse una eyaculación cerca de la vagina, aun sin haber penetración del pene e incluso siendo "virgen" la muchacha, lo que puede implicar el movimiento de los espermatozoides y traer como consecuencia un embarazo no deseado.

### **SABÍAS QUE...**

Existen diferencias entre la fase de orgasmo del hombre y la mujer. En esta última puede haber varios orgasmos seguidos, caracterizados por contracciones del útero y la vagina. En el hombre, por el contrario, una vez que ha tenido un orgasmo, consistente en contracciones expulsivas en la uretra que implican la eyaculación, se inicia un período refractario en el que no es posible iniciar inmediatamente una nueva fase de excitación (ver fig. 121).

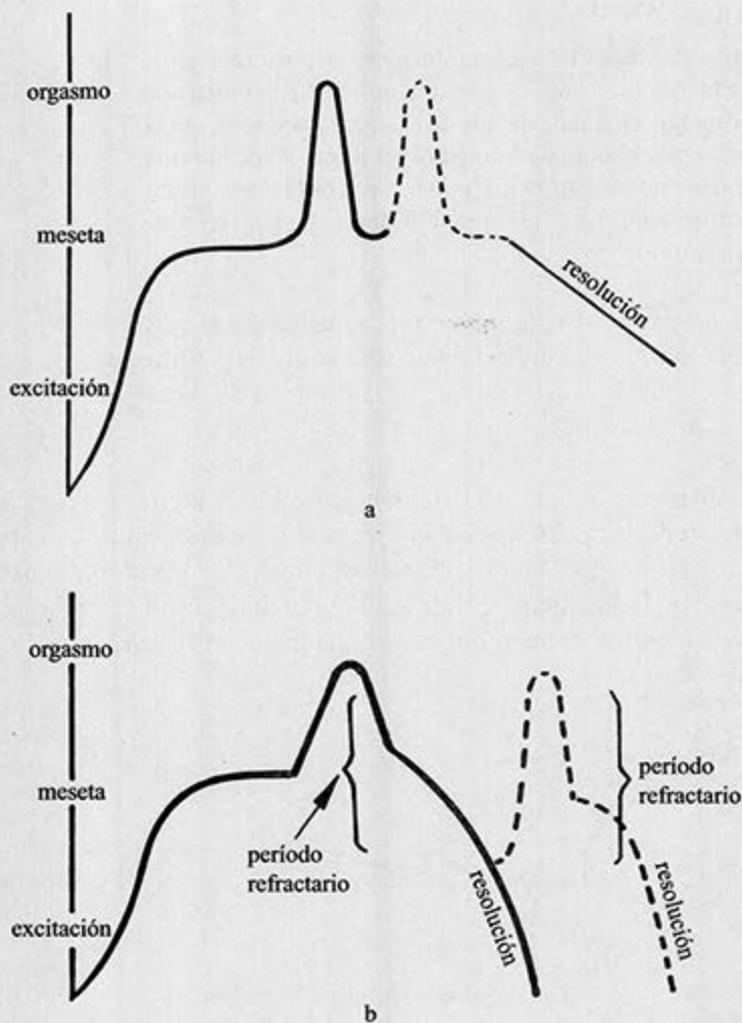


Fig. 121 Representación gráfica del ciclo de la respuesta sexual humana: a) femenina; b) masculina.

¿Qué sucede cuando un espermatozoide fecunda al óvulo?

Como resultado de la fecundación se restablece el número de cromosomas de nuestra especie, que es de 23 pares, al formarse el huevo o cigoto. A partir de este momento, se iniciará el período de división conocido con el nombre de segmentación (ver fig. 118f), que constituye la primera etapa del desarrollo embrionario que transcurre durante el *embarazo*. Este tiene una duración de aproximadamente 40 semanas.

### SABÍAS QUE...

Solo uno de los millones de espermatozoides depositados en el momento de la eyaculación fecunda al óvulo. Se ha demostrado que determinadas enzimas de los lisosomas presentes en la cabeza del espermatozoide desempeñan un papel determinante en la penetración de este. Inmediatamente se producen cambios en la capa superficial del óvulo que impiden la penetración de otros espermatozoides.

En esta etapa se forman por mitosis un número progresivamente mayor de células que constituyen parte del embrión. Es importante destacar que en el trayecto hacia el útero, donde se implanta, su nutrición se realiza por la difusión de determinadas sustancias segregadas por las trompas de Falopio, lo que constituye un factor esencial en su vitalidad.

En las primeras semanas que siguen a la implantación en el útero, el embrión encuentra las condiciones de vida necesarias en su crecimiento y desarrollo. La capa más interna de este órgano produce sustancias nutritivas, como glucógeno, proteínas, lípidos y minerales. En este período algunas células se diferencian y forman importantes estructuras como las membranas extraembrionarias y la *placenta* (fig. 122).

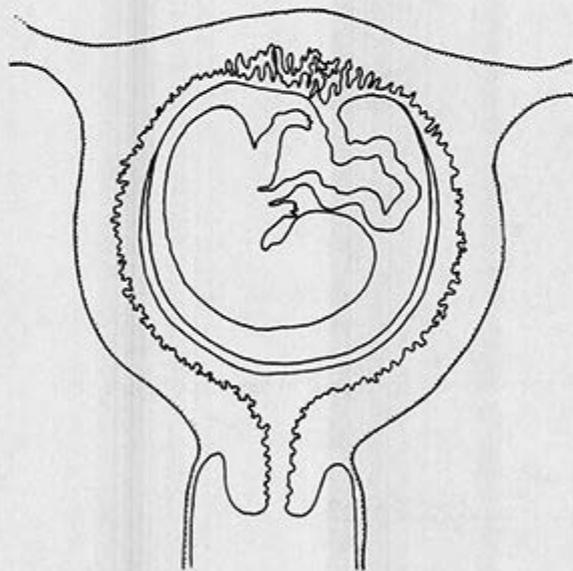


Fig. 122 Representación esquemática de las relaciones entre el feto y la madre a través de la placenta.

En el embrión se producen transformaciones en las que las células se dividen y se diferencian, dando lugar a los tejidos, órganos y sistemas de órganos del feto. A través de la placenta se establecen las relaciones del feto con la madre. Entre los vasos sanguíneos que forman el cordón umbilical y los que proceden del sistema vascular del embrión se produce el intercambio de sustancias por difusión. Los elementos nutritivos, el oxígeno, así como los

anticuerpos, necesarios para el crecimiento y desarrollo de la nueva vida, pasan de la sangre materna a la fetal y de la misma forma, pero en sentido contrario, las sustancias de desecho y del dióxido de carbono que se producen en el feto pasan a la madre (fig. 123 a).

#### **SABÍAS QUE...**

**En la medida que ocurre el crecimiento fetal, crece la placenta, la que al llegar el momento del parto es un grueso disco circular de aproximadamente 20 cm de diámetro y 500 g de peso. La placenta es un tejido muy activo; se ha calculado que aproximadamente 600 mL de sangre materna son transportados por minutos por los numerosos vasos capilares existentes en los espacios placentarios.**

La placenta tiene también función endocrina, pues en ella se producen grandes cantidades de estrógenos, progesterona y gonadotropina coriónica, indispensables en la regulación de diferentes transformaciones que ocurren durante el embarazo.

#### **SABÍAS QUE...**

**En Cuba, a partir de los descubrimientos de un equipo de investigadores dirigidos por el científico Millares Cao, se elaboran productos farmacéuticos de gran valor terapéutico a partir de extractos de ácidos grasos y otras sustancias activas de la placenta humana. Ese es el caso de la melagenina, la coriodermina y el champú de placenta, que, entre otros, resultan muy beneficiosos en el tratamiento de algunas enfermedades dermatológicas.**

Durante los primeros meses del embarazo, la placenta crece significativamente. En este tiempo se almacenan en ella grandes cantidades de productos metabólicos como: proteínas, calcio, y hierro, que contribuyen más tarde al crecimiento del feto. En esta forma la madre utiliza de manera óptima los elementos que debe ingerir durante este período.

Son significativas las transformaciones de la madre durante el embarazo. La presencia de un feto en desarrollo dentro del útero, provoca una gran carga fisiológica en todo el organismo de la mujer embarazada. Las hormonas producidas durante el embarazo provocan el aumento de tamaño de los distintos órganos sexuales y de las mamas, además se producen modificaciones del sistema circulatorio materno, hay un aumento de peso corporal, del gasto energético, así como del metabolismo.

#### **SABÍAS QUE...**

**El útero aumenta de tamaño en proporción al crecimiento fetal, de modo que al llegar al término de gestación, su masa es 24 veces mayor que al comienzo. Después de 6 meses de crecimiento del feto, el borde superior del útero se localiza al nivel del ombligo, mientras que a los 8 meses puede alcanzar la punta del esternón (fig. 123b).**



Colección  
Preuniversitario

Este libro constituye la segunda parte del texto *Biología 4*, correspondiente al oncenno grado. Consta de introducción, cuatro capítulos, conclusiones y se complementa con un vocabulario sobre términos químicos y biológicos que favorecerán la comprensión de los temas que se tratan.

En los diferentes capítulos se estudian las características fundamentales del nivel de organismo, como resultado de la evolución desde los organismos unicelulares hasta los pluricelulares, los mecanismos de regulación que contribuyen a la conservación del equilibrio del medio interno del organismo, así como las funciones de nutrición, transporte de sustancias, respiración, excreción y reproducción.

La realización de actividades prácticas que se presentan, ayudan al desarrollo de habilidades en el estudiante. En los distintos epígrafes se incluyen tareas con las que el alumno puede demostrar los conocimientos adquiridos.